

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**Ingeniero Mecánico**

**TEMA:**

**DETERMINACIÓN, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE DISCONTINUIDADES  
EN JUNTAS SOLDADAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS POR ENSAYOS NO  
DESTRUCTIVOS, BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1**

**AUTOR:**

**BYRON ALEXANDER MIÑO VACA**

**TUTOR:**

**MARCOS ANTONIO HECHAVARRÍA SÁNCHEZ**

**Quito, enero del 2020**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Byron Alexander Miño Vaca, con documento de identificación N° 171950442-3, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo de Titulación con el tema: “DETERMINACIÓN, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE DISCONTINUIDADES EN JUNTAS SOLDADAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Byron Alexander Miño Vaca

CI: 171950442-3

Quito, enero del 2020.

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico: “DETERMINACIÓN, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE DISCONTINUIDADES EN JUNTAS SOLDADAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1.” realizado por Byron Alexander Miño Vaca, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2020.



---

Marcos Antonio Hechavarría Sánchez

CI: 1756684369

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a los seres que me dieron la vida, a mi madre Norma, y a mi padre Edison, quienes han sido un pilar fundamental en este arduo camino de formación profesional, siempre me han brindado su apoyo, y me han transmitido la motivación y la fuerza para jamás rendirme, además, de inculcarme aquellos valores del hogar con lo cual me han hecho una mejor persona.

A mis hermanos, Anthony y Beyder, para que sepan que con esfuerzo se puede llegar lejos y cumplir todos los objetivos que se tenga en mente; en general, dedico este trabajo a todos quienes estuvieron pendientes en cada paso de este logro.

***Byron***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por la vida, la salud y la fortaleza en cada uno de mis días, a pesar de las adversidades siempre encontré un camino claro por el cual seguir.

A mis padres, por los sabios consejos que me pudieron brindar, por su apoyo y comprensión incondicional en tiempos difíciles, de ustedes aprendí que todo parece imposible hasta que lo logras, basta con dar el primer paso.

A mis hermanos, por ser la inspiración para este logro.

A mi tío Fredi, por ser mi guía, demostrando siempre ser un gran ejemplo de profesional. ¡Gracias por creer en mí!

A mi tío Antonio, por hacerme ver el mundo cómo es, supiste darme los mejores consejos para nunca desistir.

A Ivonne, por tu ayuda y comprensión cuando las necesité, y, sobre todo, gracias por transmitir tus conocimientos y experiencias a diario.

Finalmente, a mis amigos, Esteban, Alex y Antonella por haberme brindado su amistad sincera, en las buenas y en las malas... ¡Gracias!

***Byron***

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE .....	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
MARCO TEÓRICO.....	2
1.1    Ensayos no destructivos (END) .....	2
1.1.1    Inspección Visual .....	3
1.1.2    Líquidos Penetrantes .....	7
1.1.3    Partículas Magnéticas.....	10
1.1.4    Ultrasonido.....	13
1.2    Soldadura.....	16
1.2.1    Soldadura en estructura metálica .....	17
1.2.2    Posiciones y tipos de soldadura.....	21
1.2.3    Tipos de juntas .....	22
1.2.4    Tipos de ranuras .....	23
1.2.5    Discontinuidades típicas en soldadura .....	23
1.2.6    Calidad en la soldadura .....	27
1.3    American Welding Society (AWS) - Sociedad Americana de Soldadura .....	27
1.3.1    Código AWS D1.1 .....	27
1.4    Procedimientos de inspección .....	28
1.4.1    Validación de procedimientos.....	28
CAPÍTULO II .....	29
MARCO METODOLÓGICO.....	29
2.1    Tipo de investigación .....	29

2.2	Diseño de la investigación .....	29
2.2.1	Inspección Visual .....	29
2.2.2	Líquidos Penetrantes .....	32
2.2.3	Partículas Magnéticas.....	36
2.2.4	Ultrasonido.....	40
2.3	Partes de un procedimiento de inspección .....	44
2.4	Validación de un procedimiento de inspección .....	46
2.5	Interpretación y evaluación de los resultados de inspección .....	47
CAPÍTULO III .....		48
DESARROLLO Y RESULTADOS .....		48
3.1	Procedimiento de Inspección Visual.....	48
3.1.1	Objetivo .....	48
3.1.2	Alcance .....	48
3.1.3	Requisitos del personal .....	48
3.1.4	Responsabilidades del personal .....	48
3.1.5	Documentos de referencia .....	49
3.1.6	Equipos y materiales.....	49
3.1.7	Requisitos de control de calidad del proceso previo a la inspección.....	49
3.1.8	Áreas de inspección .....	49
3.1.9	Desarrollo de la inspección.....	50
3.1.10	Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1: .....	51
3.1.11	Reporte de inspección.....	52
3.1.12	Validación del método .....	52
3.1.13	Evaluación de las discontinuidades .....	55
3.2	Procedimiento de Inspección por Líquidos Penetrantes Tipo II, Método A.....	56
3.2.1	Objetivo .....	56
3.2.2	Alcance .....	56
3.2.3	Requisitos del personal .....	57
3.2.4	Responsabilidades del personal .....	57
3.2.5	Documentos de referencia .....	57
3.2.6	Equipos y materiales.....	57
3.2.7	Requisitos de control de calidad del proceso previo a la inspección.....	58

3.2.8	Áreas de inspección .....	58
3.2.9	Desarrollo de la inspección.....	58
3.2.10	Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1.....	61
3.2.11	Reporte de inspección.....	61
3.2.12	Validación del método .....	62
3.2.13	Evaluación de las discontinuidades .....	64
3.3	Procedimiento de Inspección por Partículas Magnéticas Húmedas Fluorescentes .....	66
3.3.1	Objetivo .....	66
3.3.2	Alcance .....	66
3.3.3	Requisitos del personal .....	66
3.3.4	Responsabilidades del personal .....	66
3.3.5	Documentos de referencia .....	66
3.3.6	Equipos y materiales.....	67
3.3.7	Requisitos de control de calidad del proceso previo a la inspección.....	67
3.3.8	Áreas de inspección .....	68
3.3.9	Desarrollo de la inspección.....	68
3.3.10	Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1.....	70
3.3.11	Reporte de inspección.....	70
3.3.12	Validación del método .....	71
3.3.13	Evaluación de las discontinuidades .....	73
3.4	Procedimiento de Inspección por Ultrasonido .....	74
3.4.1	Objetivo .....	74
3.4.2	Alcance .....	74
3.4.3	Requisitos del personal .....	75
3.4.4	Responsabilidades del personal .....	75
3.4.5	Documentos de referencia .....	75
3.4.6	Equipos y materiales.....	75
3.4.7	Requisitos de control de calidad del proceso previo y durante la inspección.....	77
3.4.8	Áreas de inspección .....	78
3.4.9	Desarrollo de la inspección.....	78
3.4.10	Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1.....	81
3.4.11	Reporte de inspección.....	81



3.4.12	Validación del método .....	82
3.4.13	Evaluación de las discontinuidades .....	84
CONCLUSIONES .....		86
RECOMENDACIONES .....		88
REFERENCIAS .....		89
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resultados de la validación del método de inspección visual.....	54
<b>Tabla 2.</b> Evaluación de los resultados. ....	55
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la validación del método de líquidos penetrantes visibles.....	63
<b>Tabla 4.</b> Evaluación de los resultados. ....	65
<b>Tabla 5.</b> Resultados de la validación del método de partículas magnéticas.....	72
<b>Tabla 6.</b> Evaluación de los resultados. ....	74
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la validación del método de ultrasonido. ....	84
<b>Tabla 8.</b> Evaluación de los resultados. ....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Galgas de soldadura de filete fijas .....	5
<b>Figura 2.</b> Galga de soldadura de filete ajustable .....	5
<b>Figura 3.</b> Galga de medición de tamaño de soldadura .....	5
<b>Figura 4.</b> Galga de medición de profundidad de poros .....	6
<b>Figura 5.</b> Inspección visual remota con videoscopio .....	6
<b>Figura 6.</b> Líquidos Penetrantes Fluorescentes Tipo I.....	8
<b>Figura 7.</b> Líquidos Penetrantes Visibles Tipo II .....	8
<b>Figura 8.</b> Líquidos Penetrantes Visibles en Estructura Metálica .....	9
<b>Figura 9.</b> Partículas Magnéticas Secas Visibles.....	11
<b>Figura 10.</b> Partículas Magnéticas Húmedas .....	12
<b>Figura 11.</b> Partículas magnéticas húmedas fluorescentes en estructura metálica .....	12
<b>Figura 12.</b> Espectro acústico .....	13
<b>Figura 13.</b> Inspección mediante el método de ultrasonido.....	14
<b>Figura 14.</b> Bloque de calibración IIW Tipo I.....	15
<b>Figura 15.</b> Inspección ultrasónica de soldadura en estructura metálica.....	16
<b>Figura 16.</b> Clasificación general de los procesos de soldadura.....	17
<b>Figura 17.</b> Soldadura SMAW .....	18
<b>Figura 18.</b> Soldadura GMAW .....	19
<b>Figura 19.</b> Soldadura FCAW-G .....	20
<b>Figura 20.</b> Soldadura SAW .....	21
<b>Figura 21.</b> Posiciones y tipos de soldadura.....	22
<b>Figura 22.</b> Tipos de juntas.....	22
<b>Figura 23.</b> Tipos de ranura .....	23
<b>Figura 24.</b> Porosidades en soldadura. ....	24
<b>Figura 25.</b> Inclusiones de escoria.....	24
<b>Figura 26.</b> Fusión incompleta.....	25
<b>Figura 27.</b> Penetración incompleta. ....	25
<b>Figura 28.</b> Fisura .....	26
<b>Figura 29.</b> Socavadura.....	26

<b>Figura 30.</b> Tamaños y perfiles de soldadura AWS D1.1. ....	27
<b>Figura 31.</b> Secuencia de inspección visual. ....	31
<b>Figura 32.</b> Secuencia de inspección con líquidos penetrantes .....	36
<b>Figura 33.</b> Secuencia de inspección con partículas magnéticas.....	39
<b>Figura 34.</b> Secuencia de inspección por ultrasonido.....	44
<b>Figura 35.</b> Esquema de Probeta N°1. Serie: 20190807.....	53
<b>Figura 36.</b> Probeta N°1. Serie: 20190807 .....	53
<b>Figura 37.</b> Inspección Visual. Probeta N°1. Serie: 20190807 .....	55
<b>Figura 38.</b> Esquema de Probeta N°2. Serie: 20190808.....	62
<b>Figura 39.</b> Probeta N°2. Serie: 20190808 .....	63
<b>Figura 40.</b> Inspección por Líquidos Penetrantes. Probeta N°2. Serie: 20190808.....	64
<b>Figura 41.</b> Esquema de Probeta N°3. Serie: 20190802.....	71
<b>Figura 42.</b> Probeta N°3. Serie: 20190802 .....	71
<b>Figura 43.</b> Inspección por Partículas Magnéticas. Probeta N°3. Serie: 20190802 .....	73
<b>Figura 44.</b> Zona de barrido.....	79
<b>Figura 45.</b> Esquema de Probeta N°4. Serie: 20190803.....	83
<b>Figura 46.</b> Probeta N°4. Serie: 20190803 .....	83
<b>Figura 47.</b> Inspección por Ultrasonido. Probeta N°4. Serie: 20190803.....	85

## RESUMEN

El presente trabajo enfoca la metodología para determinar, interpretar y evaluar discontinuidades en juntas soldadas de estructuras metálicas por ensayos no destructivos, inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, y ultrasonido basado en el Código AWS D1.1.

En la actualidad, la industria de la construcción con estructuras metálicas crece considerablemente en el país, sin embargo, al omitir las inspecciones no destructivas en uniones soldadas la tendencia de fallos de una estructura metálica incrementa de manera significativa aumentando el riesgo de una posible catástrofe, lo cual se convierte en un tema crítico de estudio debido a que varios de sus componentes están diseñados para soportar cargas y esfuerzos; y a su vez el producto final del proceso tiene una interacción directa con el ser humano, lo que le da realce a la importancia de su control.

Este documento brinda al lector una herramienta eficaz para realizar la inspección en cordones de soldadura dentro de este sector industrial, cumpliendo los requisitos mínimos internacionalmente establecidos en las prácticas recomendadas de la ASTM y otros códigos de referencia como por ejemplo, ASME Sección V, mediante los cuales se han desarrollado los procedimientos de inspección de los métodos anteriormente mencionados, su validación y los resultados obtenidos de su aplicación en probetas diseñadas de acuerdo al alcance de AWS D1.1.

Se pudo concluir que dichos procedimientos son efectivos para la detección de discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas en juntas soldadas, obteniendo valores superiores al 90% en su validación al comprar el método de inspección visual vs. líquidos penetrantes visibles, partículas magnéticas vs. líquidos penetrantes fluorescentes; líquidos penetrantes visibles y ultrasonido vs. radiografía.

**Palabras clave:** Código AWS D1.1, Control de calidad, Discontinuidad, Ensayos no destructivos, Inspección, Soldadura.

## **ABSTRACT**

The present work focuses the methodology to determine, interpret and evaluate discontinuities in welded joints of metal structures by non-destructive tests, visual inspection, penetrating liquids, magnetic particles, and ultrasound based on the AWS D1.1 code.

Nowadays, the construction industry with metal structures grows considerably in the country, however, by omitting non-destructive inspections in welded joints the tendency of failures of a metal structure increases significantly increasing the risk of a possible catastrophe, which becomes a critical study topic because several of its components are designed to withstand loads and efforts; and in turn, the final product of the process has a direct interaction with the human being, which enhances the importance of its control.

This document provides the reader an effective tool for inspecting weld seams within this industrial sector, complying with the minimum requirements internationally established in the ASTM recommended practices and other reference codes such as ASME Section V, through which inspection procedures of the aforementioned methods , their validation and the results obtained from their application in specimens designed according to the scope of AWS D1.1 have been developed.

It was concluded that these procedures are effective for the detection of surface, subsurface and internal discontinuities in welded joints, obtaining values greater than 90% in their validation when purchasing the method of visual inspection vs. visible penetrating liquids, magnetic particles vs. fluorescent penetrating liquids; visible penetrating liquids and ultrasound vs. radiography.

**Key words:** AWS D1.1 Code, Quality Control, Discontinuity, Non-Destructive Testing, Inspection, Welding.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Código:** Conjunto de especificaciones adoptadas por organizaciones gubernamentales para analizar, diseñar, manufacturar y construir algo. El propósito de un código consiste en lograr un grado específico de seguridad, eficiencia y desempeño o calidad [1].
- **Cristal piezoeléctrico:** Son cristales naturales o sintéticos que permiten la generación de cargas eléctricas en sus caras cuando se ejerce sobre ellos una presión o tracción mecánica [2].
- **Defecto:** Una o más indicaciones las cuales en dependencia de su morfología, dimensiones, propiedades o localización, no cumplen los criterios de un código o norma, y son rechazables [3].
- **Discontinuidad:** Interrupción en la estructura física de un material, que puede ser causada intencional o no intencionalmente [3].
- **Evaluar:** Determinar que una indicación relevante puede ser aceptada o rechazada de acuerdo a los criterios de un código.
- **Garganta real de soldadura tipo filete:** La distancia menor que existe entre la raíz de la soldadura y la cara del filete [4].
- **Garganta teórica de soldadura tipo filete:** La distancia a partir de la raíz de la junta y perpendicular a la hipotenusa del triángulo rectángulo más grande que se puede inscribir dentro de la sección transversal de una soldadura tipo filete [4].
- **Indicación:** La respuesta que arroja un examen no destructivo y que requiere su interpretación para definir su relevancia [3].
- **Indicación relevante:** Una indicación de END causada por una condición o tipo de discontinuidad que necesita ser evaluada [3].
- **Indicación no relevante:** Una indicación de END causada por una condición que no es rechazable, por ejemplo, geometría del componente. Las indicaciones falsas son no relevantes [3].
- **Indicación falsa:** Una indicación de END que se interpreta como causada por una condición que no es una discontinuidad o imperfección [2].
- **Interfaz:** El límite entre dos materiales [2]

- **Interpretar:** Determinar si una discontinuidad es relevante o no relevante [3].
- **Junta:** La unión de los miembros o de los bordes de miembros que se van a unir o se han unido [4].
- **Junta de penetración completa- CJP (Complete Joint Penetration):** Una condición de raíz de la junta en una soldadura de ranura en la cual el metal de soldadura se extiende a través del espesor completo de la junta [4].
- **Junta de penetración parcial-PJP (Partial Joint Penetration):** Junta en la cual la penetración es intencionalmente menor que una completa.
- **Linealidad horizontal (tiempo o distancia),** La medida de la proporcionalidad de las señales que aparecen en el eje de tiempo o distancia de la pantalla y las señales de entrada al receptor desde un generador de tiempo calibrado o desde múltiples ecos de una placa de material de espesor conocido [2].
- **Linealidad vertical (amplitud),** La medida de la proporcionalidad de la amplitud de la señal de entrada al receptor y la amplitud de la señal que aparece en la pantalla del instrumento ultrasónico o pantalla auxiliar [2].
- **Material Ferromagnético:** Material magnetizable que exhibe los fenómenos de la histéresis magnética y saturación [2].
- **Norma:** Es un conjunto de especificaciones para partes, materiales o procesos establecidos a fin de lograr uniformidad, eficiencia y cantidad especificadas. Uno de los propósitos importantes de una norma es poner un límite al número de artículos en las especificaciones para proporcionar un inventario razonable de herramientas, tamaños, formas y variedades [1].
- **Piernas de soldadura de filete:** Distancia a partir de la raíz de la junta hasta la corona de la soldadura tipo filete [4]
- **Práctica Estándar:** Es un documento que contiene un concepto que ha sido establecido por una autoridad, sirve como un modelo o regla en la medida de la calidad o el establecimiento de una práctica o procedimiento [3].
- **Procedimiento:** Una secuencia ordenada de acciones que describe como debe ser aplicada una técnica [3].



- **Punto índice de emisión acústica:** La línea central acústica del haz de la unidad de búsqueda definido por el lugar geométrico de los puntos de presión sonora máxima en el campo lejano y su extensión al campo cercano [2].
- **Rango:** La trayectoria máxima del viaje del sonido que se muestra en la pantalla [2].
- **Reflexión:** Eco, indicación de la energía reflectada [2].
- **Resolución:** La habilidad de un sistema de ultrasonido para mostrar simultáneamente indicaciones de discontinuidades separadas que tienen casi el mismo rango y posición lateral respecto al eje del sonido [2].
- **Sensibilidad:** La medida del nivel de respuesta producida por una discontinuidad en un método de inspección no destructivo [3].
- **Zapata de ultrasonido:** Un dispositivo utilizado para direccionar la energía dentro del material a un ángulo definido [2].
- **AC:** Corriente alterna
- **ASME:** American Society of Mechanical Engineers
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **ASNT:** American Society for Nondestructive Testing
- **AWS:** American Welding Society
- **dB:** Decibel
- **DC:** Corriente directa
- **EHP:** Escala horizontal de pantalla
- **END:** Ensayos no Destructivos
- **EVP:** Escala vertical de pantalla
- **ET:** Electromagnetic Testing
- **IIW:** International Institute of Welding
- **LT:** Leak Testing
- **MT:** Magnetic Testing
- **PT:** Penetrant Testing
- **RT:** Radiographic Testing
- **UT:** Ultrasonic Testing
- **UV:** Ultravioleta

- **VT:** Visual Testing
- **WPS:** Welding Procedure Specification

## INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción en el país crece de manera considerable, y el uso de la estructura metálica para los procesos de fabricación y montaje de casas, edificios y maquinaria es lo más utilizado en la actualidad debido a las grandes ventajas económicas y mecánicas que brinda, sin embargo, el uso de ensayos no destructivos en el control de calidad del proceso de fabricación de soldadura no siempre se cumple de acuerdo a lo establecido en los códigos aplicables, pudiendo esta omisión ser causa de accidentes en este sector industrial, por tal motivo, una de las mejores opciones para el cumplimiento mandatorio de los ensayos a nivel de país es la inclusión, difusión y aplicación de normativas internacionalmente reconocidas para la fabricación, inspección y montaje de estructuras metálicas.

El objetivo del presente trabajo es determinar, interpretar y evaluar discontinuidades en juntas soldadas de estructuras metálicas por ensayos no destructivos, basados en el Código AWS D1.1, y como objetivos específicos:

- Revisar el Código AWS D1.1 determinando los requisitos aplicables a ensayos no destructivos para estructuras metálicas.
- Analizar el Código ASME Sección V, y las prácticas estándar ASTM E-709, E-1444, E-1417, E-165, E-114, E-587 y E-164 específicas para cada método de ensayo no destructivo.
- Validar los procedimientos de inspección mediante el uso de probetas y bloques patrón.
- Evaluar los resultados obtenidos y emitir un criterio de aceptación o rechazo final.

El presente trabajo enfoca su estudio en el desarrollo de procedimientos de inspección, claros, específicos, y bien definidos hasta llegar a la validación y el reporte de los resultados obtenidos de su aplicación mediante probetas de soldadura fabricadas de acero estructural A-36, respetando los alcances del Código.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo abordaremos los conceptos relacionados a los métodos de ensayos no destructivos, se describirán los más utilizados para la inspección de estructuras metálicas, además de sus ventajas y limitaciones. Por otra parte, se dará a conocer las definiciones de soldadura, sus tipos, formas y finalmente la relación directa que involucra el control de calidad de las mismas, en base a los procedimientos contemplados en códigos, normas y prácticas recomendadas.

#### **1.1 Ensayos no destructivos (END)**

Los ensayos no destructivos son un grupo de métodos de inspección que se utilizan para la detección de discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas en los materiales, con la ventaja de no destruirlos ni afectar su utilidad futura. De acuerdo con la Sociedad Americana de Ensayos no Destructivos ASNT [5] la efectividad en la determinación, interpretación y evaluación de los resultados depende de la calificación, habilidad y experiencia del personal que los ejecute.

En la actualidad los END son aplicados en la mayoría de los procesos industriales, desde la selección de materia prima, procesos de fabricación y componentes en servicio, además los distintos métodos y técnicas que involucran los END logran satisfacer las necesidades de los diferentes sectores como son: la industria aeronáutica, de la construcción, metalmecánica, petrolera, naval, termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas entre otras.

Su uso se fundamenta en el control de calidad de los elementos inspeccionados, y mediante ello dar cumplimiento a códigos, normas y estándares nacionales e internacionales, buscando así mejorar la seguridad en el entorno industrial, brindar mayor confiabilidad en los procesos y evitar pérdidas materiales, económicas y humanas ocasionadas por fallos en los materiales.

De acuerdo con la ASNT [5] existen quince métodos de ensayos no destructivos clasificados como superficiales, volumétricos y de hermeticidad, esta clasificación se basa

en la localización de la discontinuidad que puede ser detectada. Dentro del primer grupo se encuentran también aquellos de carácter subsuperficial, es decir, los utilizados para la detección de discontinuidades ubicadas hasta 6mm (0,25in) de profundidad bajo la superficie de inspección. Los más utilizados se detallan a continuación:

**a) Métodos de Inspección Superficial**

- Inspección Visual – VT
- Líquidos Penetrantes – PT
- Partículas Magnéticas – MT
- Electromagnetismo – ET

**b) Métodos de Inspección Volumétrica**

- Ultrasonido – UT
- Radiografía – RT

**c) Métodos de Inspección por Hermeticidad**

- Pruebas de Fuga – LT

En el presente trabajo se darán a conocer los métodos de END considerados para el control de calidad de juntas soldadas de estructuras metálicas, además se realizarán varios estudios que involucren la determinación, interpretación y evaluación de los resultados de probetas certificadas hasta llegar a su validación a través de procedimientos desarrollados para los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido, basados en el Código AWS D1.1.

**1.1.1 Inspección Visual**

Es uno de los métodos más utilizados debido a su fácil, rápida aplicación, y costo relativamente bajo; además es uno de los métodos más importantes y el primero en ejecutarse en la mayoría de las inspecciones porque proporciona información general con relación al cumplimiento de los requerimientos del código aplicable para el conjunto soldado [6].

La inspección visual se aplica antes de realizar la soldadura, durante su ejecución y después de haberla terminado. Antes de comenzar a soldar, el inspector revisa que el material a ser usado se encuentre libre de defectos de fabricación tales como escamas, costras, costuras o laminaciones y verifica las dimensiones de las placas, ángulos de bisel, aberturas de raíz, entre otros parámetros. Durante la ejecución, el inspector revisa que el proceso se esté cumpliendo de acuerdo a lo descrito en el Procedimiento Específico de Soldadura (WPS), y una vez terminada la junta se revisa la calidad de la misma en cuanto a su aspecto, dimensiones finales, y posibles discontinuidades desprendidas del proceso, como porosidades, socavaduras, traslapes y grietas verificando que los resultados finales se encuentren dentro de los criterios de aceptación descritos en el código aplicable [6].

La inspección visual se clasifica en dos técnicas, de acuerdo a lo siguiente:

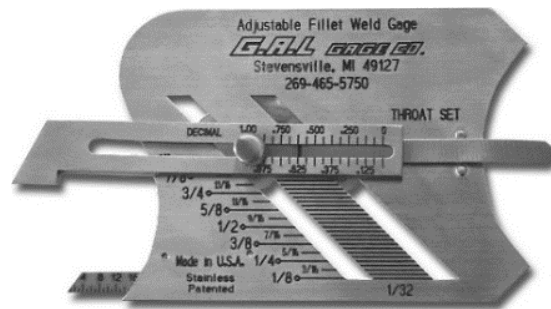
**a) Inspección Visual Directa:** Este tipo de inspección se realiza cuando existe suficiente acceso a la superficie a inspeccionar, en la cual se pueda colocar los ojos a una distancia dentro de 24 pulg [600 mm] y con un ángulo no menor a 30 grados. La luz natural mínima requerida para este tipo de inspección es de 100 fc [1000 lx] la cual debe ser medida mediante un medidor de luz visible conocido como luxómetro [3].

El uso de herramientas de ayuda visual para la inspección como, por ejemplo: magnificadores, lámparas, espejos, galgas y calibres es conocida como inspección visual directa realizada. Los calibradores de inspección más utilizados en el control de calidad de uniones soldadas para estructuras metálicas se detallan a continuación [7]:

- **Calibradores fijos y ajustable para cordones de filete:** Los fijos, como se muestran en la Figura 1, usualmente vienen en conjunto de 7 unidades y son utilizadas para medir la altura de las piernas del filete y el tamaño de la garganta. La Figura 2, muestra el calibrador ajustable que es utilizado para la medición del espesor de garganta, y verificación de igualdad de sus piernas.

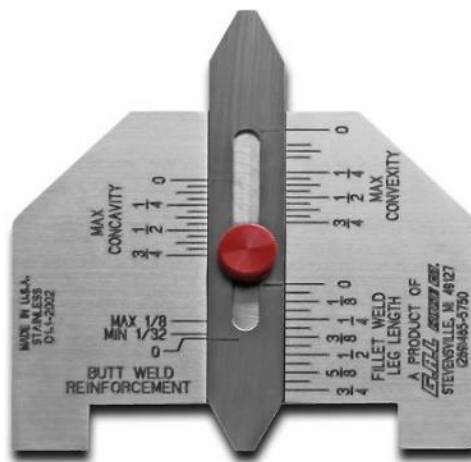


**Figura 1.** Galgas de soldadura de filete fijas [7]



**Figura 2.** Galga de soldadura de filete ajustable [7]

- **Calibrador de tamaño de soldadura:** En soldaduras a tope es utilizada para la medición del refuerzo, mientras que, para soldaduras de filete es utilizada para la medición del espesor de garganta y determinación del tamaño de sus piernas, ver Figura 3.



**Figura 3.** Galga de medición de tamaño de soldadura [7]

- **Calibrador de profundidad de poros:** En utilizada únicamente en soldaduras a tope para medir la profundidad de poros, socavaduras, y picaduras. (Ver Figura 4).



**Figura 4.** Galga de medición de profundidad de poros [7]

**b) Inspección Visual Remota:** Este tipo de inspección es utilizada en aquellas zonas de difícil acceso, para lo cual se emplea herramientas remotas tales como boroscopios, videoscopios, cámaras, fibra óptica, entre otros, (ver Figura 5), los cuales deben tener al menos la capacidad de resolución equivalente a la obtenida mediante la inspección visual directa [3].



**Figura 5.** Inspección visual remota con videoscopio. Elaborado por: Byron Miño



### 1.1.2 Líquidos Penetrantes

La práctica estándar ASTM E-165 [8] define a los líquidos penetrantes como un método no destructivo que permite el hallazgo de discontinuidades que tienen conexión a la superficie, como fisuras, poros, laminaciones, faltas de fusión, socavaduras, entre otras, y son aplicables para pruebas de fabricación, de proceso y de servicio o mantenimiento. Estos pueden ser efectivamente utilizados en cualquier tipo de material, ferroso y no ferroso incluyendo plástico, vidrio y cerámico; la única restricción se presenta en materiales porosos en los cuales no es posible su aplicación.

Su principio fisicoquímico se basa en la propiedad de capilaridad del líquido que permite que el mismo se filtre en discontinuidades tan pequeñas de hasta  $0.1\ \mu\text{m}$  [4  $\mu\text{pulg}$ ] de ancho. El equipo es sencillo y fácil de utilizar, y su costo es bajo en comparación a otros métodos, sin embargo, su principal desventaja es que solo permite la detección de discontinuidades superficiales [9].

El proceso consiste en la aplicación del líquido sobre la superficie a inspeccionar por inmersión, roció, o brocha, esperar un tiempo en el que el penetrante pueda actuar para luego remover el exceso lavando o enjuagando, y secarlo mediante un trapo libre de pelusas, finalmente se aplica una capa de revelador misma que permitirá que el líquido emerja nuevamente a la superficie mostrando la indicación sobre un contraste blanquecino para posteriormente ser interpretada y evaluada de acuerdo al código aplicable [10].

Los líquidos penetrantes de acuerdo a su tipo se clasifican en dos [8]:

**a) Tipo I. Penetrantes Fluorescentes:** Contiene un pigmento que fluoresce brillantemente cuando es excitado por luz negra (UVA), Figura 6, se los puede encontrar de diferentes sensibilidades desde  $\frac{1}{2}$  ultra baja, hasta 4 ultra alta, la selección de la sensibilidad (mínimo tamaño de discontinuidad detectable), su mayor uso está ligado a la inspección de componentes aeronáuticos.



**Figura 6.** Líquidos Penetrantes Fluorescentes Tipo I. Elaborado por: Byron Miño

**b) Tipo II. Penetrantes Visibles:** Es el comúnmente utilizado en la industria metalmecánica, contiene un pigmento que puede ser visto con luz visible y su color es usualmente rojo como se muestra en la Figura 7. La sensibilidad para este tipo es considerada única pero no se compara con el nivel más bajo del penetrante tipo I.



**Figura 7.** Líquidos Penetrantes Visibles Tipo II. Elaborado por: Byron Miño

Además, pueden ser clasificados de acuerdo a su método de remoción, entre los utilizados para el propósito de nuestro estudio se detallan los siguientes [8]:

- **Método A. Lavable con Agua:** Son formulados para que la superficie pueda ser directamente lavada con agua y de esta manera remover rápidamente el exceso de penetrante permitiendo la inspección de grandes lotes.
- **Método C. Removible con Solvente:** Son de base aceite y más sensibles que los lavables con agua, su remoción es indirecta, es decir, inicialmente se remueve el exceso de penetrante con un trapo limpio y seco, y luego se elimina el remanente mediante otro humedecido con solvente. Es utilizado para la inspección de zonas localizadas, pero no es adecuado para alta producción.

Es recomendable que los líquidos penetrantes a utilizar en cualquier proceso se encuentren en el listado de la AMS 2644E [11], aquellos que no consten en dicho documento podrían ser utilizados previa autorización del departamento de ingeniería competente.

La selección del tipo de penetrante y del método de remoción deberá realizarse en función a la aplicación y sensibilidad deseada. Para la inspección de uniones soldadas en estructuras metálicas generalmente se utilizan líquidos penetrantes visibles lavables con agua como se indica en la Figura 8, de Tipo II- Método A, pero no se limita a estos.



**Figura 8.** Líquidos Penetrantes Visibles en Estructura Metálica. Elaborado por: Byron Miño

### 1.1.3 Partículas Magnéticas

Es un método no destructivo de tipo superficial utilizado para la detección de discontinuidades en materiales ferromagnéticos, es aplicable para materiales en bruto, semi acabados (billets, tochos, piezas de fundición y de forja), materiales con acabado final y soldaduras independientemente de que tengan o no tengan tratamiento térmico, y componentes en servicio como técnica de mantenimiento preventivo, su única restricción se presenta en metales no magnetizables y aleaciones como los aceros austeníticos [12].

Su aplicación más común en la inspección de soldadura es la detección de indicaciones lineales muy finas tales como fisuras, las cuales no pueden ser apreciadas a simple vista [6]. La técnica consiste en aplicar finas partículas sobre la superficie del componente a inspeccionar, estas pueden ser aplicadas secas o húmedas en una solución de base aceite o agua; una vez que la parte es magnetizada mediante la ayuda de un campo magnético procedente de un yugo o una bobina y una discontinuidad se presenta, la misma hace que las partículas se acumulen visiblemente en la distorsión de las líneas de flujo adaptando la forma del defecto. Además, es posible utilizar magnetización con corriente alterna o corriente directa dependiendo si la discontinuidad que se pretende encontrar es superficial o subsuperficial, respectivamente [9].

Las partículas magnéticas se clasifican de manera general en dos tipos [13]:

**a) Partículas Secas:** Son diseñadas para ser aplicadas por rociado o espolvoreado directamente en la superficie a inspeccionar, se tiene como requisito de calidad mantener el tamaño de la partícula y controlar la posible contaminación, por lo cual la reutilización no es una práctica común en esta técnica. Este tipo de partículas son muy resistentes a condiciones extremas de temperatura, lo cual es una gran ventaja al momento de la versatilidad en las inspecciones. En el mercado se las puede encontrar en colores fluorescentes, no fluorescentes, o duales, siendo la primera presentación mucho más costosa por la necesidad del uso de luz ultravioleta. La elección del color dependerá de la aplicación y sensibilidad que

se requiera obtener. En la Figura 9, se indican partículas magnéticas secas visibles 8A ROJO de la marca Magnaflux con sus pulverizadores.



**Figura 9.** Partículas Magnéticas Secas Visibles. Elaborado por: Byron Miño

**b) Partículas Húmedas:** Son diseñadas para ser suspendidas en un vehículo como agua o algún destilado ligero de petróleo a una concentración específica para su posterior aplicación, por baño, aspersión o inmersión, y se encuentran disponibles en colores fluorescentes, no fluorescentes y duales. Usualmente se emplean en equipos horizontales de tipo estacionario en los cuales la suspensión es retenida en un reservorio recirculante para su uso continuo; también se las puede encontrar en botes de aerosol como una mezcla lista para usarse. Este tipo de partículas son de menor tamaño que las secas y pueden detectar discontinuidades extremadamente finas, por lo tanto, se consideran más sensibles. La Figura 10, muestra la presentación Magnaglo 20 B de una libra, y la solución suspendida en agua para ser aplicada mediante un pulverizador.



**Figura 10.** Partículas Magnéticas Húmedas. Elaborado por: Byron Miño

Una aplicación común de partículas magnéticas es la inspección de uniones soldadas de estructuras metálicas en servicio como se muestra en la Figura 11, y en aquellas que han sido sometidas a grandes esfuerzos en su operación, en estos componentes la discontinuidad típica a detectar será de carácter lineal (fisuras), como se detalló en párrafos anteriores. El Código AWS D1.1 no especifica el tipo de partículas a utilizar, es decir, queda a elección del departamento de ingeniería responsable, dependiendo la posición de trabajo y la sensibilidad que se desea alcanzar.



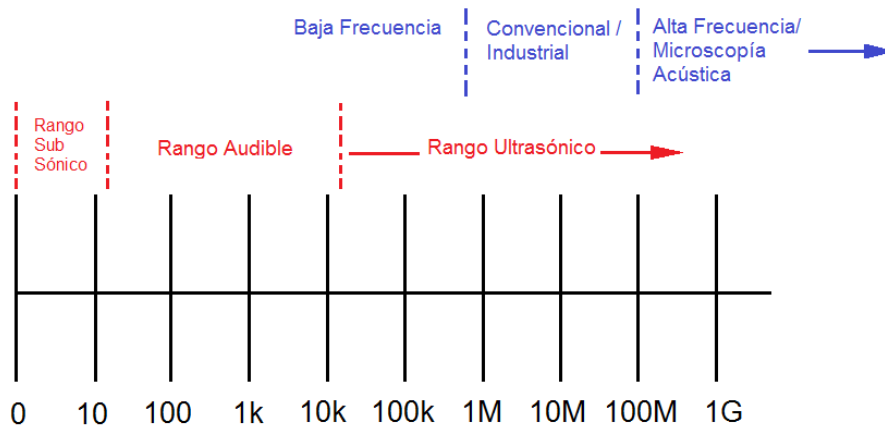
**Figura 11.** Partículas magnéticas húmedas fluorescentes en estructura metálica. Elaborado por: Byron

Miño

#### 1.1.4 Ultrasonido

Este método utiliza ondas acústicas sonoras con frecuencias superiores a 20kHz para su operación, lo cual va más allá del rango audible humano. Las frecuencias más comunes oscilan en el rango de los 100kHz hasta los 50MHz para todas sus aplicaciones [14].

La onda ultrasónica se caracteriza por poseer una longitud de onda muy corta en comparación a la del sonido audible, es por esto que puede ser reflectada fácilmente por superficies muy pequeñas como son los defectos internos en un material. En la Figura 10, se observa el espectro acústico dividido en 3 rangos de frecuencias, y el rango del ultrasonido dividido en 3 subsecciones [14].



**Figura 12.** Espectro acústico [14]

El ensayo consiste en introducir ondas de sonido de alta frecuencia en un objeto para obtener información del mismo, sin alterarlo ni generar daños o afectaciones. Los dos principales parámetros considerados en ultrasonido son: el tiempo de tránsito, definido como la cantidad de tiempo que la onda de sonido viaja a través de un material y la amplitud de la señal recibida, comúnmente expresada en porcentaje [15].

El espesor de un elemento medido por el método de ultrasonido pulso-eco se puede calcular utilizando la ecuación (1), misma que muestra el resultado del producto de la velocidad del sonido en el material por un medio del tiempo de tránsito [15].



$$T = \frac{V.t}{2} \quad (1)$$

Donde:

T: espesor del material

V= velocidad del sonido en el material

t= tiempo de tránsito

Los equipos y accesorios esenciales para la aplicación del ensayo como se indica en la Figura 13, consisten en un equipo de ultrasonido, un palpador con cristal piezoeléctrico, un cable coaxial y un medio acoplante, generalmente gel a base de agua.

El principio de funcionamiento del método consiste en la transformación de la corriente proveniente del equipo al palpador, donde la energía eléctrica se transforma en energía mecánica generando vibraciones acústicas (ondas ultrasónicas) que, posteriormente, serán transmitidas en el material a través de un medio acoplante. La reflexión de las ondas ultrasónicas provocada por una interfaz acústica causa un proceso inverso en el cristal, retornando al equipo como señal eléctrica que se representa en la pantalla en forma de picos (Scan A) para poder ser interpretada y evaluada [16].



**Figura 13.** Inspección mediante el método de ultrasonido. Elaborado por: Byron Miño



El ajuste, calibración, y verificación de los equipos se realiza a través de bloques patrón, los cuales contienen discontinuidades artificiales conocidas. Mediante este proceso se puede observar en la pantalla del equipo señales similares a la discontinuidad que se pretende encontrar, su posición y amplitud de referencia para luego utilizarlo en los elementos a inspeccionar [16].

La Figura 14, muestra uno de los bloques de calibración más utilizados en el método, se conoce comercialmente como IIW Tipo I y permite al usuario tomar referencia de distancia, resolución, ángulo y sensibilidad previo a la inspección.



**Figura 14.** Bloque de calibración IIW Tipo I. Elaborado por: Byron Miño

Entre las aplicaciones más relevantes del ultrasonido se tiene: la detección de discontinuidades localizadas en la superficie y en el interior de los materiales, medición de espesores, y caracterización para calidad en uniones (adherencia), sin embargo, existen otras aplicaciones de menos frecuencia en la que puede ser utilizado como, por ejemplo, determinación de propiedades físicas, estructura, tamaño de grano y constantes elásticas en materiales [17].

En la actualidad la evaluación por ultrasonido puede ser aplicada en gran variedad de materiales utilizados en la industria, lo cual representa una gran ventaja para el método.

Cuando se emplean equipos y accesorios de alta sensibilidad se pueden obtener mejores resultados [17].

Su aplicación en la inspección de estructuras metálicas se muestra en la Figura 15, y está enfocada en la detección de discontinuidades internas en uniones soldadas para verificar la integridad de las juntas de acuerdo con los criterios del Código AWS D1.1.

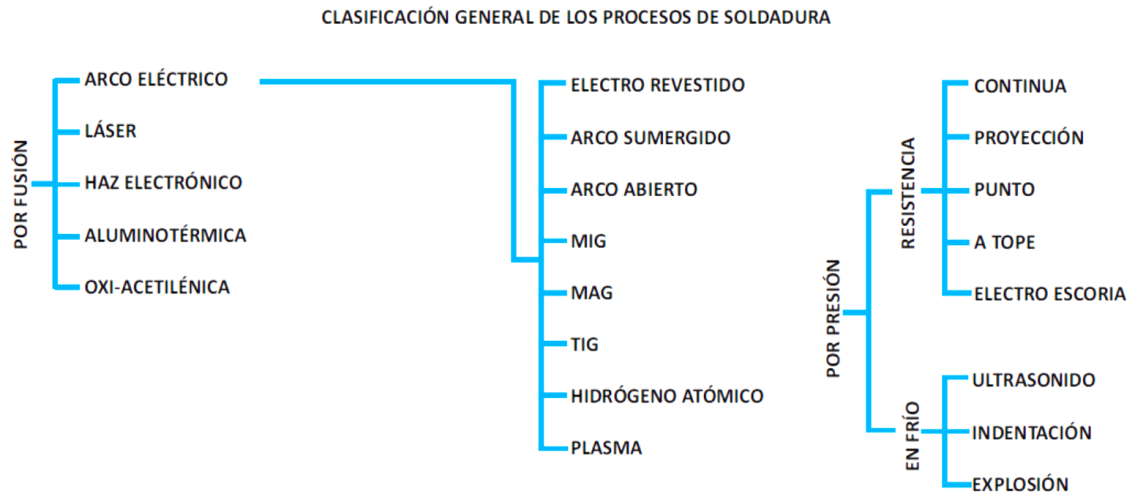


**Figura 15.** Inspección ultrasónica de soldadura en estructura metálica. Elaborado por: Byron Miño

## 1.2 Soldadura

Espinosa [18] define a la soldadura como el proceso que utiliza presión o calor para unir dos piezas de metal de composición similar llegando hasta el punto de fusión, y haciendo que sus moléculas se unan para formar un solo cuerpo y el material quede homogéneo.

Cuando el proceso de soldadura se basa en el uso exclusivo de calor, se denomina soldeo por fusión, mientras que cuando el proceso se basa en el empleo de calor y presión se conoce como soldeo por resistencia. La Figura 16, muestra la clasificación general de los procesos de soldadura [19].



**Figura 16.** Clasificación general de los procesos de soldadura [19]

### 1.2.1 Soldadura en estructura metálica

Varias de las estructuras metálicas aplicadas en la ingeniería como cerchas, tolvas, estructuras, puentes, requieren el uso de soldadura en varias de sus etapas, desde su construcción y monitoreo, hasta en sus posibles reparaciones. En la actualidad, existen disponibles varios métodos de soldadura, sin embargo, los más utilizados en estructura se encuentran dentro del proceso por fusión, específicamente por arco eléctrico [20].

Bajo los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para Estructuras de Acero [21], se pueden utilizar procesos de soldadura tipo SMAW, GMAW, FCAW y SAW para la fabricación y el montaje de los elementos de acero estructural y conexiones de los Sistemas Resistentes a Cargas Sísmicas (SRCS), empalmes y bases de columnas que no son parte del SRCS, en edificios y en otras estructuras diseñadas, fabricadas y montadas de una manera similar a los edificios con elementos resistentes a carga lateral y vertical. Aquellas columnas que no son parte del SRCS se refiere a columnas que forman parte de pórticos gravitacionales, es decir, pórticos que han sido diseñados para resistir solamente cargas verticales, sin embargo, también brinda la posibilidad del uso de otros procesos siempre y cuando cumplan los requisitos mandatorios descritos en la norma ANSI/AISC 341-05 y sean aprobados por el fiscalizador de estructuras del proyecto.

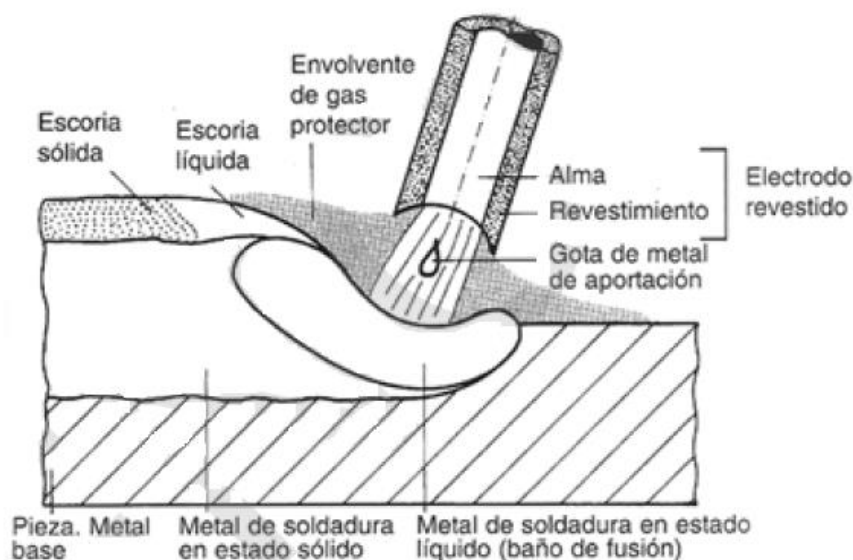
A continuación, se definen los procesos de soldadura anteriormente mencionados:

**a) SMAW (Shielded metal-arc welding) - Soldadura por arco y electrodo revestido:**

Este tipo de soldadura es producida gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar. La Figura 17 indica el esquema básico del proceso, el material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas, mientras que la protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente se solidifica [22].

Entre sus principales ventajas se tiene que el equipo es relativamente económico, fácil de utilizar, su medio de protección procede del mismo electrodo revestido y es menos sensible al viento en comparación a otros procesos. Por otra parte, entre sus limitaciones se tiene que el proceso requiere gran habilidad del soldador y que se considera como un proceso lento por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria [22].

La soldadura por arco eléctrico que utiliza electrodos revestidos se considera una de las técnicas más utilizadas, especialmente en soldaduras de producción de poco tamaño, trabajos que involucran mantenimiento y reparación, y construcciones de campo [22].

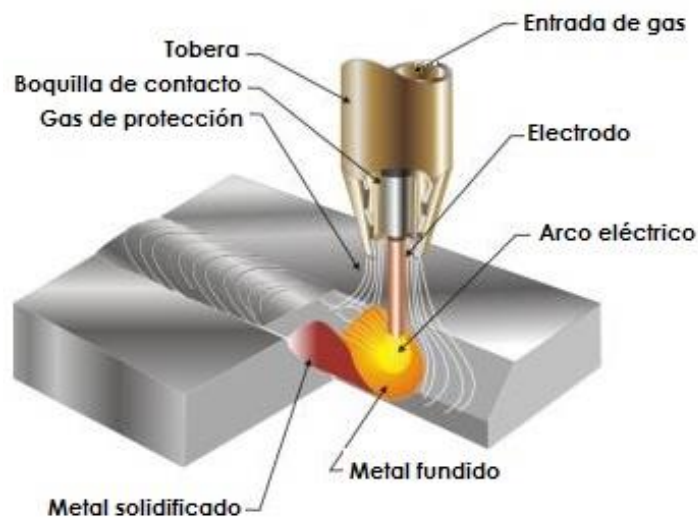


**Figura 17.** Soldadura SMAW [22]

**b) GMAW (Gas Metal Arc Welding) - Soldadura por arco con gas de protección:**

La técnica de soldeo por arco con gas se indica en la Figura 18, utiliza el calor de un arco eléctrico entre el metal de trabajo y su electrodo consumible. El electrodo es un alambre macizo, desnudo, que se alimenta continuamente de manera manual, semiautomática o automática, y que al momento de consumirse se convierte en metal depositado [22], [23].

El electrodo, el arco de metal fundido y las zonas adyacentes del metal base, quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos gracias a una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre (electrodo) [22].



**Figura 18.** Soldadura GMAW [24]

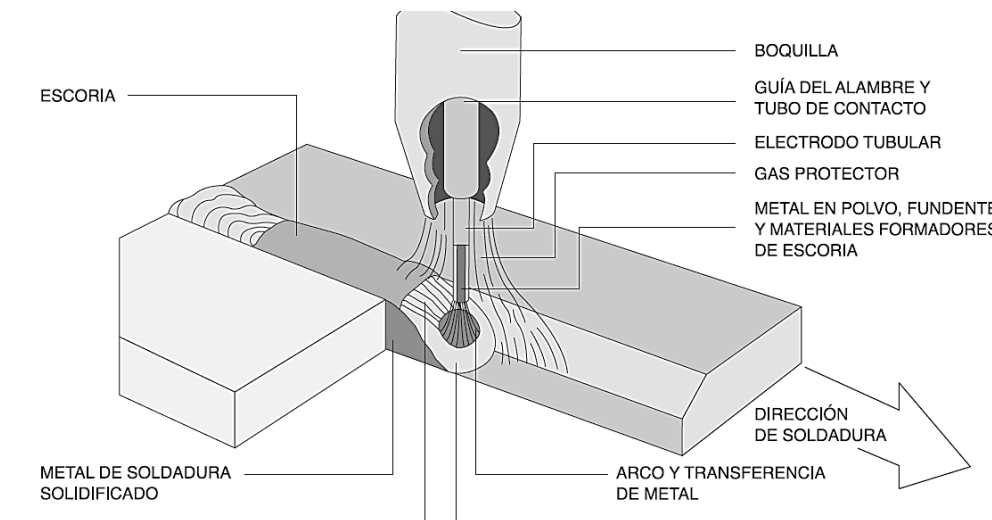
La soldadura GTAW puede ser realizada empleando dos tipos de gases para la protección del proceso, gas inerte MIG (Metal Inert Gas), generalmente argón, o gas activo MAG (Metal Active Gas), generalmente dióxido de carbono.

La principal ventaja de este proceso es el uso de electrodo continuo, por lo cual aumenta la productividad. Además, no presenta escoria, su tasa de aportación es elevada y se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho mayores a las del proceso SMAW, por otra parte, este proceso es costoso, complejo, menos portable, y muy sensible al viento por lo cual su uso se restringe a espacios cerrados [22].

**c) FCAW (Flux cored arc welding) - Soldadura por arco con alambre tubular:**

En este proceso se consigue la soldadura mediante el calor de un arco eléctrico, el mismo que es establecido entre un alambre electrodo consumible continuo y la pieza de metal que se suelda. El fundente contenido dentro de un alambre tubular brinda la protección, de esta forma es posible utilizar gas de protección adicional FCAW-G (gas shielded flux cored arc welding) o sin gas de protección adicional FCAW-S (self-shielded flux cored arc welding) [22].

Este proceso combina las características de los procesos SMAW y GMAW, y se diferencia de este último en que el electrodo es un alambre hueco relleno de fundente, que deposita un metal fundido protegido con una ligera capa de escoria producto de su fundición por arco eléctrico, el resto del proceso es similar [22]. La Figura 19, indica proceso de soldadura FCAW-G.



**Figura 19.** Soldadura FCAW-G [25]

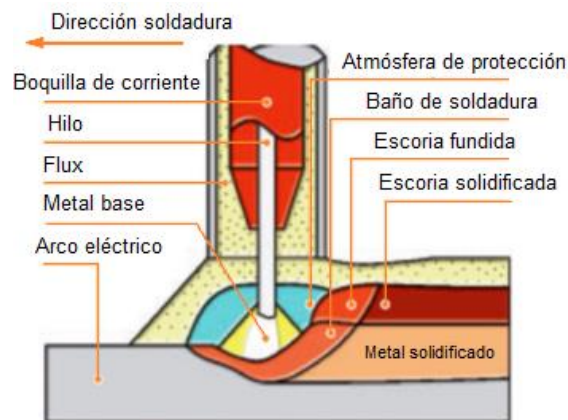
Sus principales aplicaciones se presentan en la soldadura de aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidable y fundiciones, específicamente en construcciones tales como: astilleros, estructura de edificios, depósitos de almacenamiento, plataformas petrolíferas, tuberías para gaseoductos, oleoductos, puentes, entre otros [22].

Entre sus ventajas se tiene que el proceso no requiere tanta limpieza del metal base, el gas se produce dentro del arco, por tanto, no afectan las corrientes de aire y puede ser utilizado en lugares donde las condiciones climatológicas son adversas. Su principal desventaja se centra en la remoción de la escoria, además el equipo es costoso y requiere alta inversión inicial [22].

#### **d) SAW (Submerged arc welding)- Soldadura por arco sumergido:**

El proceso de soldadura por arco sumergido consiste en la fusión de un electrodo continuo que puede ser macizo o tubular, protegido por la escoria generada por un flux, granulado o en polvo, con el que se alimenta el arco por separado. Esta técnica permite depositar grandes volúmenes de metal de soldadura de excelente calidad a bajo coste para una amplia gama de aplicaciones [26].

La Figura 20 muestra el proceso de soldadura, el sistema por lo general es totalmente automático, de tal manera que logra obtener grandes rendimientos en la producción, lo cual es una de sus ventajas más relevantes, sin embargo, al utilizarse normalmente en este tipo de instalaciones se requiere una inversión inicial elevada [26].

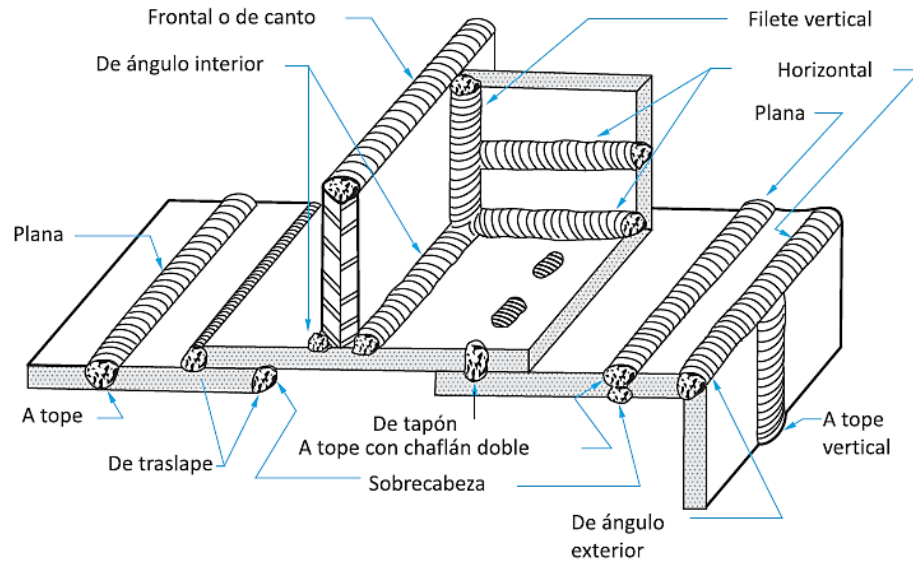


**Figura 20.** Soldadura SAW [26]

#### **1.2.2 Posiciones y tipos de soldadura**

Son las ubicaciones en las que se coloca el soldador con respecto a la soldadura para poder ejecutar el cordón, las más básicas son: posición plana, horizontal, vertical y sobre cabeza

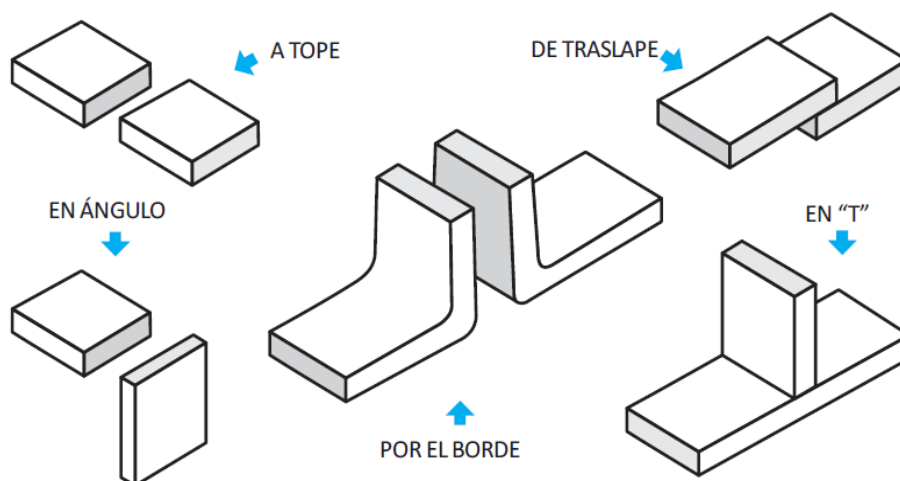
como se muestra en la Figura 21, además también indica los cuatro procesos de unión que existen para las juntas soldadas: normal, de tapón, de ranura, y de filete.



**Figura 21.** Posiciones y tipos de soldadura [19]

### 1.2.3 Tipos de juntas

Son los distintos tipos de posición respecto a los dos elementos que serán sometidos al proceso de soldadura [19]. En la Figura 22, se indican los cinco tipos básicos de junta que existen.

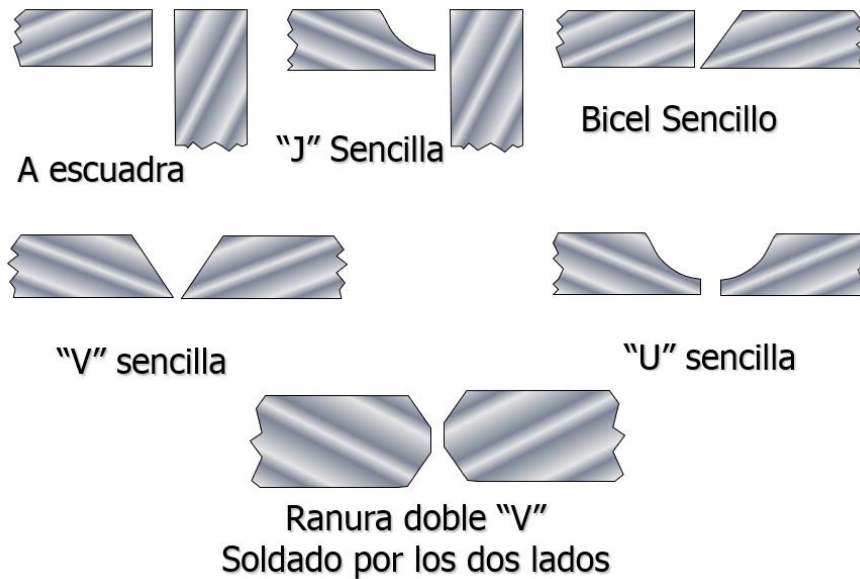


**Figura 22.** Tipos de juntas [19]



#### 1.2.4 Tipos de ranuras

La ranura es el espacio donde va a ser depositado el metal de aporte, la finalidad de la preparación de la junta es asegurar la penetración deseada en la soldadura, satisfacer todas las condiciones del servicio y facilitar la operación para obtener una excelente calidad [19]. La Figura 23, indica los tipos de ranura más comunes.



**Figura 23.** Tipos de ranura. Elaborado por: Byron Miño

#### 1.2.5 Discontinuidades típicas en soldadura

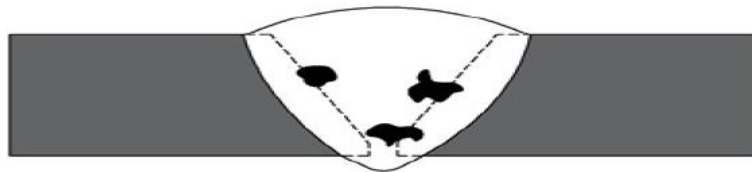
En los procesos de soldadura se pueden generar varias discontinuidades típicas que pueden estar dentro o no de los criterios descritos en el Código AWS D1.1 [4], los mismos que usualmente son detectados mediante la aplicación de ensayos no destructivos. A continuación, se detallan los más comunes:

- **Porosidades:** Son la existencia de cavidades dentro del material de aporte, generalmente son esféricas como se indica en la Figura 24, pero también pueden ser alargadas y se suelen presentar agrupadas [10].



**Figura 24.** Porosidades en soldadura. Elaborado por: Byron Miño

- **Inclusiones de Escoria:** Son materiales no metálicos atrapados en el metal de aporte, usualmente se presentan en la soldadura por arco producto de una falta de limpieza entre pases. (Ver Figura 25) [10].



**Figura 25.** Inclusiones de escoria [27]

- **Fusión incompleta o falta de Fusión:** Este tipo de discontinuidad ocurre cuando no existió fusión entre el metal de aporte y el metal base de la pieza, o a su vez los cordones de soldadura adyacentes. (Ver Figura 26) [10].



**Figura 26.** Fusión incompleta. Elaborado por: Byron Miño

- **Falta de penetración:** Se diferencia de la falta de fusión por su forma física, el cordón no cubre por completo la raíz del metal base [10], como se observa en la Figura 27.



**Figura 27.** Penetración incompleta. Elaborado por: Byron Miño

- **Fisuras o grietas:** Son definidas como discontinuidades de tipo lineal, son más largas que anchas, y de acuerdo a su posición se clasifican como longitudinales, transversales o internas, además se consideran como un defecto grave debido a su posible crecimiento cuando son sometidos a esfuerzos, la mayoría de códigos y normas rechazan este tipo de discontinuidad sin importar su longitud. Un ejemplo de fisura longitudinal en soldadura se muestra en la Figura 28.



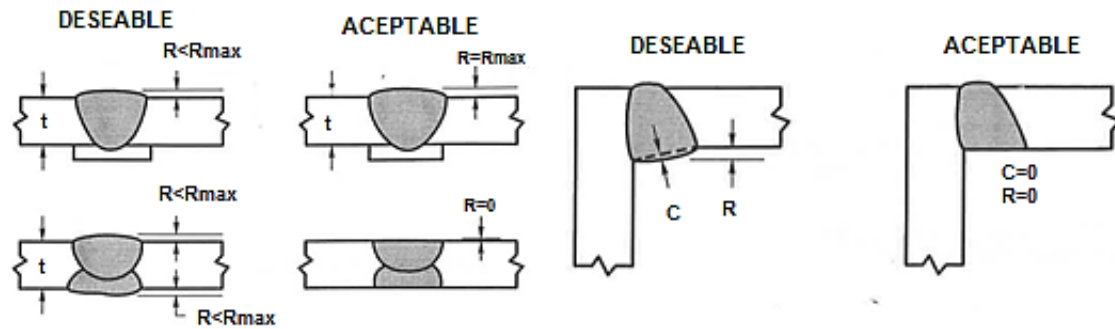
**Figura 28.** Fisura. Elaborado por: Byron Miño

- **Socavaduras:** Este tipo de discontinuidades ocurren cuando el plasma del arco a soldar remueve más metal de la cara de unión del que reemplaza con metal de aporte [10], en la Figura 29, se puede apreciar socavaduras adyacentes al cordón de soldadura.



**Figura 29.** Socavadura. Elaborado por: Byron Miño

- **Tamaños y perfiles incorrectos:** Los distintos códigos y normas utilizados en la industria establecen las dimensiones y tolerancias permisibles para los tamaños y perfiles de soldadura, con los cuales el inspector tiene una guía numérica y gráfica para emitir un criterio de aceptación o rechazo para este tipo de defectos, como por ejemplo en AWS D1.1, Figura 30.



**Figura 30.** Tamaños y perfiles de soldadura AWS D1.1. [4]

### 1.2.6 Calidad en la soldadura

Con el fin de lograr un exhaustivo control de calidad en las uniones soldadas y cumplir los criterios establecidos en códigos, normas y estándares nacionales e internacionales es necesario el uso de los distintos métodos y técnicas de ensayos no destructivos detallados en párrafos anteriores, para así aumentar la seguridad de los procesos posteriores, los cuales en su mayoría podrían tener relación directa con la seguridad humana, mitigando y reduciendo riesgos.

## 1.3 American Welding Society (AWS) - Sociedad Americana de Soldadura

La AWS es una organización creada en el año 1919 inicialmente sin fines de lucro y su principal enfoque fue el desarrollo de tecnología y avances científicos en el área de los procesos de uniones permanentes, soldaduras y cortes. En la actualidad la AWS es la encargada de establecer especificaciones, códigos y métodos para su correcta aplicación, además sus documentos y estándares son utilizados y aprobados a nivel mundial generalmente en lo que involucra al control de calidad de los procesos anteriormente mencionados [28].

### 1.3.1 Código AWS D1.1

El Código AWS D1.1 [4] describe los requisitos para la fabricación y montaje de estructuras metálicas de acero. Su alcance manifiesta el uso de aceros estructurales mayores a 1/8 de pulgada (3 mm de espesor). Entre las más importantes aplicaciones radican el control de uniones en la construcción de edificios y puentes. Este documento está compuesto por nueve cláusulas, las cuales se detallan a continuación:

- Requerimientos generales
- Diseño de conexiones soldadas
- Precalificación del WPSs
- Calificación
- Fabricación
- Inspección
- Soldadura de pernos
- Fortalecimiento y Reparación de Estructuras Existentes
- Estructuras Tubulares

#### **1.4 Procedimientos de inspección**

Los procedimientos de inspección son documentos que contienen la descripción de las actividades que deben seguirse para el cumplimiento de un objetivo, mediante el desarrollo del mismo se puede asegurar que cada uno de los pasos se realice de forma independiente, ordenada y sin improvisaciones. Los procedimientos de ensayos no destructivos deben ser realizados de manera específica, cumpliendo los requisitos mínimos de la normativa que se pretenda aplicar, es decir, existirá un procedimiento para cada método de END y para cada una de sus técnicas [3].

##### **1.4.1 Validación de procedimientos**

Consiste en la demostración de la aplicación eficaz de los procedimientos escritos a satisfacción de los requerimientos de una norma, código, referencia o estándar aplicable.

En el caso de los procedimientos de inspección de END será necesario el uso de bloques patrón y probetas certificadas que provean las características necesarias para este fin, y que logren demostrar la validez de los mismos [3].

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En el presente capítulo se dará a conocer la metodología para el desarrollo y validación de los procedimientos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido en base al Código AWS D1.1, detallando los requerimientos mínimos que deben cumplir de acuerdo a las prácticas recomendadas aplicables para cada método.

#### **2.1 Tipo de investigación**

Para el desarrollo del presente trabajo se escogió el método de investigación descriptiva, estableciendo los parámetros mínimos y los más críticos para cumplimiento eficaz de los procedimientos de END a ser validados, tomando como referencias prácticas estándar, códigos y normas internacionalmente reconocidas.

#### **2.2 Diseño de la investigación**

##### **2.2.1 Inspección Visual**

Es el más antiguo y principal método de ensayos no destructivos, una ventaja importante es que proporciona datos cualitativos y cuantitativos con mayor facilidad. Existen algunas consideraciones esenciales para que el método sea efectivo, los lineamientos específicos están descritos en el Artículo 9 del Código ASME Sección V, mismo que es utilizado como una guía estándar en la mayoría de aplicaciones, entre ellas la estructura metálica, a pesar de que su principal uso está ligado a la inspección de recipientes a presión.

El Código AWS D1.1 en el numeral 6.9 de la Parte C, establece que todas las juntas deben ser inspeccionadas visualmente y deben ser aceptadas si satisfacen los criterios de las Tablas 6.1, 9.16, y adicionalmente las Tablas 5.8 y 5.9 para los perfiles de la soldadura. (Ver Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3, respectivamente).

El Artículo 9 del Código ASME Sección V, existen requerimientos mínimos que deben estar descritos en el procedimiento de inspección para soldadura, algunos de ellos son considerados como variables esenciales, mientras que otros no. El Código AWS D1.1 no

especifica requerimientos mínimos para este proceso, por tal razón la industria ha generalizado los criterios de ASME Sección V como referencia.

**a) Variables esenciales [3]:**

- Técnica utilizada, directa o remota
- Ayudas visuales remotas, en caso de utilizar boroscopios, videoscopios, entre otros.
- Requerimientos de desempeño del personal, calificaciones mínimas requeridas
- Intensidad de luz, la mínima intensidad de luz visible deberá ser de 100 fc [1000 lux].
- Interpretación, toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.
- Evaluación, únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes, propias de una discontinuidad, deberán ser evaluadas de acuerdo a los criterios del código aplicable.

**b) Variables no esenciales [3]:**

- Configuraciones a ser inspeccionadas y formas del material base (tubería, láminas, forja, etc)
- Equipo de iluminación
- Métodos y herramientas a ser utilizadas para la preparación de la superficie
- Equipos o herramientas utilizadas para la técnica directa
- Secuencia de inspección
- Calificaciones del personal

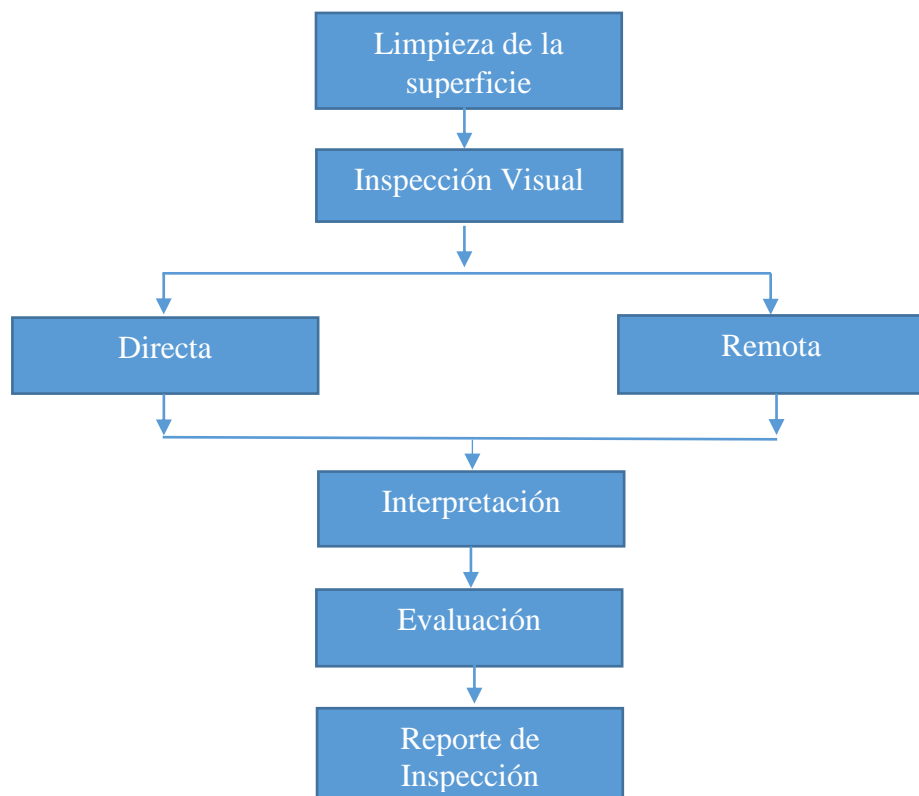
Además, el procedimiento debe contener un reporte de referencia especificando lo que fue utilizado para demostrar que el procedimiento de inspección es adecuado [3]. Generalmente se utilizan probetas con discontinuidades artificiales conocidas para la validación.



El registro de la inspección realizada se lo deberá elaborar en un formato específico el cual contenga como mínimo la información del equipo, accesorios, parámetros, fechas, indicaciones encontradas y nombre del técnico que realizó el trabajo.

Los equipos y herramientas a utilizar serán específicamente aquellos que permitan realizar la medición de las diferentes discontinuidades producidas en la soldadura, es decir, todo tipo de galgas, calibradores, micrómetros, entre otros, además del uso de herramientas de realce como magnificadores, linternas, material de limpieza y equipos para el control de los parámetros de calidad como, por ejemplo, medidores de intensidad de luz

En la Figura 31, se indica el diagrama de flujo con la secuencia principal del proceso de inspección visual.



**Figura 31.** Secuencia de inspección visual. Elaborado por: Byron Miño

### 2.2.2 Líquidos Penetrantes

Este método será utilizado para la detección de discontinuidades de tipo superficial en soldadura, todos los procedimientos de líquidos penetrantes son similares, un procedimiento escrito general podría ser utilizado para cubrir los detalles comunes de una gran variedad de componentes, la única diferencia serán los criterios de evaluación de acuerdo a los códigos aplicables.

El procedimiento será desarrollado en base a la práctica estándar ASTM E-165 como lo establece el Código AWS D1.1 en el numeral 6.14.5, y adicionalmente se tomará como referencia ASTM E-1417.

A continuación, se detallará la información mínima que debe contener el procedimiento de líquidos penetrantes Tipo II Método A, utilizado para inspección de soldadura de estructura metálica [8], [29]:

- a) **Detalles de la limpieza preliminar:** La superficie debe estar completamente libre de contaminantes como grasas, pintura, aceites, entre otros, los cuales puedan interferir con el proceso de penetración, enmascarando las posibles discontinuidades y evitando que el líquido ingrese en ellas, para lograr una limpieza eficaz se puede optar por limpieza mecánica, química, por solventes u otra cualquiera que no afecte o deteriore la superficie a inspeccionar, además se debe especificar los materiales utilizados, detalles del secado y del tiempo de procesado.
- b) **Clasificación de los líquidos penetrantes a utilizar,** de acuerdo con AMS 2644.
- c) **Parámetros del proceso de inspección:**
  - **Intensidad de luz visible:** es necesaria una intensidad de al menos 100 fc [1076 lx] con luz natural o artificial para preservar la sensibilidad del método, esta lectura debe ser obtenida mediante un medidor de luz conocido como

luxómetro/fotómetro calibrado en los últimos seis meses de acuerdo con lo especificado en ASTM E-1417, Tabla 1.

- **Detalles del método de aplicación del líquido**, se lo puede realizar por rociado, brocha, inmersión, entre otros, no es relevante la forma como se aplique, siempre y cuando la superficie quede completamente cubierta.
- **Temperaturas y tiempo de permanencia**, el componente, el penetrante y la temperatura del ambiente deben estar en el rango de 4 y 52 °C [40 y 125 °F], el tiempo de permanencia debe ser mínimo 10 minutos para temperaturas entre los 4 y 52 °C [40 y 125 °F] y 20 minutos para temperaturas entre los 4,4 y 10 °C [40 y 50 °F], se debe tener precaución para evitar el encharcamiento. Además, el tiempo máximo de penetración es de 2 horas, en caso de superar esta especificación se debe reprocesar el método.
- **Remoción del exceso de penetrante**, es uno de los pasos más críticos para lograr la efectividad del método, un lavado excesivo podría eliminar el penetrante de las posibles discontinuidades mientras que una falta de lavado podría mostrar indicaciones falsas; este proceso debe realizarse de manera cuidadosa y a condiciones de iluminación apropiadas de acuerdo a lo siguiente:
  - **Spray de agua manual**: Con chorro manual, el agua no debe exceder de una presión de 275 kPa [40 psi] y una temperatura entre 10 y 38 °C [50 y 100 °F]; con chorro hidro-aire, la presión no debe superar los 172 kPa [25 psi] a una distancia mínima de 30 cm [12 pulg].
  - **Spray de agua automatizado**: Se debe cumplir con las mismas condiciones anteriormente mencionadas.
  - **Limpieza Manual**: El exceso de penetrante debe ser removido consecuentemente mediante el uso de trapos limpios, secos y libres de pelusas, luego retirar el restante con un trapo humedecido con agua.

- **Inmersión:** Esta técnica podría ser utilizada si el agua es agitada por aire y se mantiene una buena circulación, la temperatura del agua debe estar entre 10 y 38 °C [50 y 100 °F].
  
- **Tiempo de secado,** la superficie debe ser secada antes de la aplicación del revelador, se puede usar un horno con aire caliente recirculante; chorro de aire caliente o frío, o aire a temperatura ambiente. El mejor secado es obtenido en un secador con aire caliente recirculante termostáticamente controlado. La temperatura del horno no debe exceder de 71 °C [160 °F] y el tiempo de permanencia no debe ser mayor a 30 minutos.
  
- **Aplicación del revelador y tiempo de revelado,** se puede aplicar de varias formas como por ejemplo espolvoreado, inmersión, aspersion lo cual dependerá del tamaño, geometría, rugosidad y configuración del elemento inspeccionado:
  - **Forma a:** Revelador seco.
  - **Forma b:** Soluble en agua.
  - **Forma c:** Suspendido en agua.
  - **Forma d:** No acuoso para fluorescentes.
  - **Forma e:** No acuoso para visibles.
  - **Forma f:** Aplicación específica.

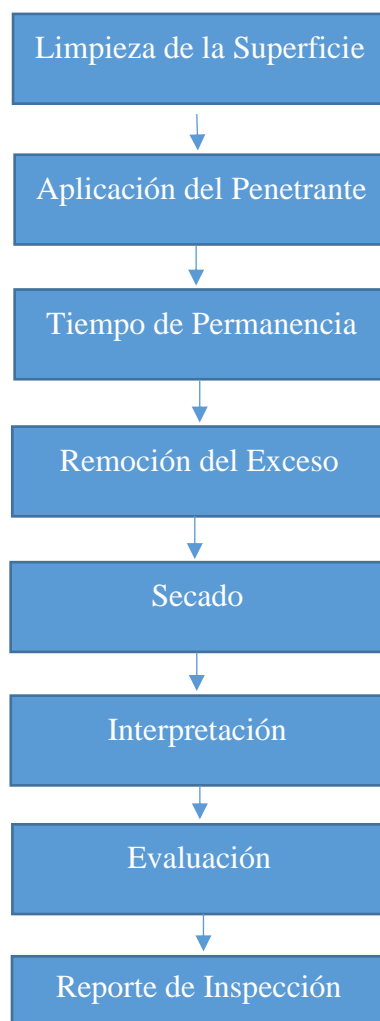
El revelador más utilizado en la inspección de soldadura en estructura metálica es de la forma e, debido a su gran eficiencia y su fácil portabilidad, estos son suministrados en latas spray. Una capa lo suficientemente gruesa y uniforme debe ser aplicada sobre la superficie seca de tal manera que genere un contraste blanco y que las indicaciones rojizas del penetrante puedan ser visualizadas con claridad. El tiempo mínimo y máximo de revelado es de 10 minutos y 1 horas respectivamente.

**d) Requerimientos de inspección y evaluación:**

- **Interpretación**, toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.
- **Evaluación**, únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes, propias de una discontinuidad, deberán ser evaluadas de acuerdo a los criterios del código aplicable.
- **Criterios de aceptación/ rechazo**, serán establecidos de acuerdo con el Código AWS D1.1. parte C, numeral 6.10, Tabla 6.1 y 9.16.
- **Identificación, método y localización de marcado**
- **Registros**, se deberá realizar en un formato específico el cual contenga como mínimo la información del equipo, accesorios, parámetros, fechas, indicaciones encontradas y nombre del técnico que realizó el trabajo.

**e) Detalles de la limpieza posterior**, es importante la limpieza posterior del elemento inspeccionado para eliminar los residuos de penetrante o revelador que puedan causar algún daño futuro, interferir en su proceso subsecuente, en su funcionamiento, u operación, se deberá especificar los materiales utilizados.

Se deben especificar los líquidos penetrantes, limpiadores, emulsificadores y reveladores a utilizar en el proceso de inspección, además de los equipos y herramientas para el control de calidad, como medidores de luz, temperatura, presión, entre otros. En la Figura 32, se indica el diagrama de flujo con la secuencia principal del proceso de inspección con líquidos penetrantes tipo II, método A.



**Figura 32.** Secuencia de inspección con líquidos penetrantes. Elaborado por: Byron Miño

### **2.2.3 Partículas Magnéticas**

Este método solo puede ser utilizado para la inspección de materiales ferromagnéticos, es muy eficaz para la detección de discontinuidades lineales de tipo superficial y subsuperficial, en componentes en servicio, su técnica más sensible y versátil son las húmedas fluorescentes.

El procedimiento será desarrollado en base a la práctica estándar ASTM E-709 como lo establece el Código AWS D1.1 en el numeral 6.14.4, y adicionalmente se tomará como referencia ASTM E-1444.

A continuación, se detallará la información mínima que debe contener el procedimiento de partículas magnéticas húmedas fluorescentes solubles en agua, utilizado para inspección de soldadura de estructura metálica [13]:

- a) **Áreas a ser inspeccionadas**, se deberá especificar las soldaduras en las cuales será aplicado el método.
- b) **Tipo de partículas magnéticas**, detallar el uso de partículas húmedas fluorescentes con su respectiva identificación y especificación.
- c) **Equipo de partículas magnéticas a utilizar**
- d) **Requerimientos de preparación de la superficie**, el componente deberá estar completamente limpio, libre de contaminantes, grasa, pintura, óxido, etc, antes de realizar la inspección, es necesario detallar el proceso de limpieza previa.
- e) **Proceso de magnetización**, se utilizará magnetización continua.
- f) **Corriente de magnetización**, se pretende detectar discontinuidades superficiales, por lo cual se deberá especificar el uso de corriente alterna.
- g) **Forma de magnetizar el componente**, la magnetización deberá ser realizada a través de un yugo electromagnético.
- h) **Dirección del campo magnético**, al utilizar un yugo para la magnetización, la dirección del campo magnético será longitudinal.
- i) **Validez de sistema/ pruebas de sensibilidad**, detallar de proceso de verificación con el cual se comprueba que el sistema trabaja en condiciones óptimas y las pruebas de sensibilidad que se realizan:
  - **Intensidad de luz visible**, no deberá exceder de 2 fc [22 lux], esta lectura debe ser obtenida mediante un medidor de luz conocido como luxómetro/fotómetro, calibrado en los últimos seis meses de acuerdo con lo especificado en ASTM E-709, Tabla 2.
  - **Intensidad de la fuente de luz UV**, es necesario que la lámpara o linterna de luz UV arroje una intensidad de al menos  $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  a una distancia no menor a 12 pulg [30,5 cm], esta lectura debe ser obtenida mediante un medidor de luz UV conocido como radiómetro, calibrado en los últimos seis meses de acuerdo con lo especificado en ASTM E-709, Tabla 2.

- **Concentración de las partículas**, debe ser determinada mediante la medición del volumen de un tubo centrífugo con divisiones de 0.05 mL, tomando una muestra de la mezcla de 100 mL y dejándola reposar por 30 minutos, la concentración deberá estar dentro de los límites de 0.1 a 0.4 mL.
- **Levantamiento de peso muerto(yugo)**, deberá ser capaz de levantar al menos 10 lb en AC con una abertura de sus piernas entre 2 y 6 pulgadas.
- **Gaussmeters**: estos equipos sirven para la medición del campo magnético residual, deberá estar calibrado dentro de los últimos seis meses de acuerdo con lo especificado en ASTM E-709, Tabla 2.

**j) Fuerza del campo magnético**, el levantamiento del peso muerto demostrará que el yugo posee la suficiente fuerza magnetizadora

**k) Interpretación y evaluación de las indicaciones**

- **Interpretación**, toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.
- **Evaluación**, únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes, propias de una discontinuidad, deberán ser evaluadas de acuerdo a los criterios del código aplicable.
- **Criterios de aceptación y rechazo**, serán establecidos de acuerdo con el Código AWS D1.1. parte C, numeral 6.10, Tabla 6.1 y 9.16.
- **Registros**, se deberá realizar en un formato específico el cual contenga como mínimo la información del equipo, accesorios, parámetros, fechas, indicaciones encontradas y nombre del técnico que realizó el trabajo.

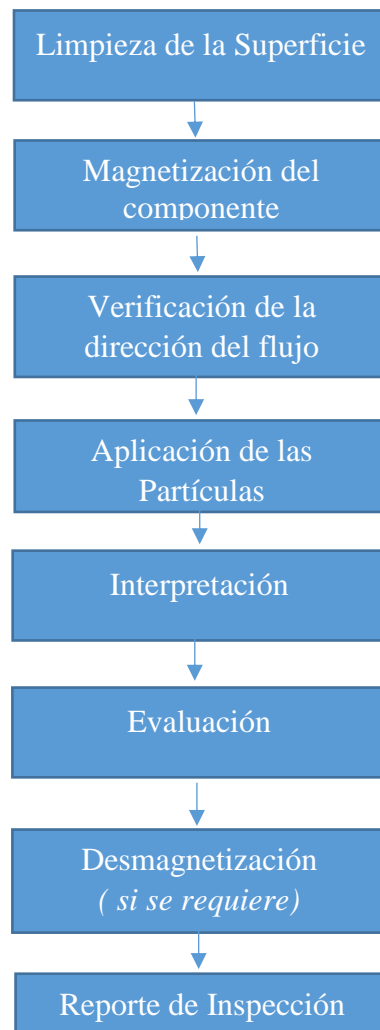
**l) Técnicas de desmagnetización**, si los componentes van a ser utilizados cerca de instrumentos sensibles, la magnetización residual será requerida. Cuando se utiliza desmagnetización de AC, el componente debe ser sometido a un campo magnético con un valor similar, y casi en la misma dirección que el campo utilizado durante la inspección, el mismo se reducirá gradualmente hasta llegar a cero. La práctica más común es realizar el proceso a través del yugo electromagnético invirtiendo la polaridad. La medida de magnetismo residual debe ser tomada con un gaussmeter calibrado y no deberá exceder de 3 Gauss.

**m) Detalles de la limpieza posterior**, en caso de ser requerido.



- n) Es necesario especificar el tipo de partículas magnéticas a utilizar en el proceso de inspección, además de los equipos y herramientas para el control de calidad como medidores de concentración, medidores de luz, fuerza magnetizadora, dirección de campo magnético, entre otros.

En la Figura 33, se indica el diagrama de flujo con la secuencia principal del proceso de inspección con partículas magnéticas húmedas fluorescentes solubles en agua.



**Figura 33.** Secuencia de inspección con partículas magnéticas. Elaborado por: Byron Miño

#### 2.2.4 Ultrasonido

Es uno de los métodos con mayor desarrollo tecnológico, sus más grandes aplicaciones son la detección de fallas en cordones de soldadura y la medición de espesores en materiales, a través de este método es posible la localización de discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas.

El procedimiento será utilizado en juntas de ranura para espesores entre 5/16 y 8 pulg [8 y 200 mm] de acero estructural y será realizado tomando como referencia las prácticas recomendadas ASTM E-114, E-1587, E-164 cumpliendo con los requerimientos mínimos aplicables de acuerdo con el Código AWS D1.1, numeral 6.14.3, parte F.

Los requerimientos del equipo de ultrasonido se detallan a continuación [4]:

- a) **Requerimientos de la unidad**, debe ser de tipo pulso eco, que se lo pueda usar con transductores en frecuencias desde 1 hasta 6 MHz. Es necesario que la pantalla permita la visualización en Scan A y mantenga estabilización interna para evitar variación de respuesta de más de  $\pm 1$  dB, luego del calentamiento.
- b) **Linealidad horizontal**, deberá ser verificada en la distancia del sonido completa que se pretenda utilizar en la inspección.
- c) **Calibración de ganancia (linealidad vertical)**, deberá tener un aumento de control de ganancia calibrado, y que pueda ajustarse en pasos de 1 o 2 dB para un rango de al menos 60 dB, la exactitud de estas lecturas deberá ser 1 dB o menos.
- d) **Rango de la pantalla**, deberá permitir que una desviación de 1 dB de amplitud se detecte fácilmente en la pantalla.
- e) **Transductores de haz recto**, deberá ser redondo o cuadrado con un área activa no menor a  $\frac{1}{2}$  pulg<sup>2</sup> [323 mm<sup>2</sup>], ni más de 1 pulg<sup>2</sup> [645 mm<sup>2</sup>], además deberá tener el poder de resolución capaz de mostrar tres reflectores de distancias cercanas entre sí.
- f) **Transductores de haz angular**, deberá consistir de una zapata de haz angular.
  - **Frecuencia**, deberá estar dentro del rango de 2 a 2.25 MHz.

- **Dimensiones**, el transductor deberá constar de un cristal cuadrado o rectangular que puede variar desde 5/8 hasta 1 pulg. [15 hasta 25 mm] en ancho y desde 5/8 hasta 13/16 pulg. [15 hasta 20 mm] en alto. La relación máxima entre ancho y largo deberá ser máximo de 1.2:1, y la mínima de 1:1.
  - **Ángulos**, el transductor deberá producir señales con una variación máxima de  $\pm 2^\circ$  en ángulos de  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $70^\circ$ .
  - **Marcas**, cada transductor deberá ser marcado de tal manera que indique la frecuencia, ángulo de refracción, y el punto índice de emisión acústica.
- g) **Reflexiones internas**, deberán ser verificadas cada 40 horas de uso del equipo, una vez realizada la calibración en distancia y haber aumentado 20dB sobre el nivel de referencia, el área después de 1/2 pulg. [12 mm] del viaje del sonido y el nivel de referencia deberá estar libre de cualquier indicación.
- h) **Distancia del borde**, la distancia del borde frontal del transductor al punto índice de emisión acústica no deberá exceder de 1 pulg. [25 mm].

Los requerimientos de los bloques de referencia se detallan a continuación [4]:

- a) **Bloques IIW**, cualquier bloque referencial para ultrasonido del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) puede ser utilizado para la calibración en distancia y sensibilidad, el mismo debe incluir un barreno de 0.060 pulg. [1,5 mm], y las características de distancia, resolución y ángulo. Adicionalmente deben cumplir lo descrito en ASTM E 164, se podrán usar otros bloques si se logra verificar que alcanzan la sensibilidad equivalente a la obtenida en los tipo IIW.
- b) **Reflectores prohibidos**, las esquinas como reflectores están prohibidas para propósitos de calibración.
- c) **Poder de resolución**, el sistema deberá ser capaz de diferenciar 3 reflectores de agujeros en el bloque de resolución RC, estos deberán ser visualizados a la mitad de la pantalla en condiciones de ajuste normales de operación, el uso del bloque RC para calibración está prohibido. Es necesario registrar y documentar el resultado de la verificación para cada transductor y zapata por una sola vez, el mismo debe incluir:

- Marca, modelo y serie del equipo
- Fabricante del transductor, tipo, tamaño, ángulo y serie
- Fecha de verificación y nombre del técnico que lo realizó

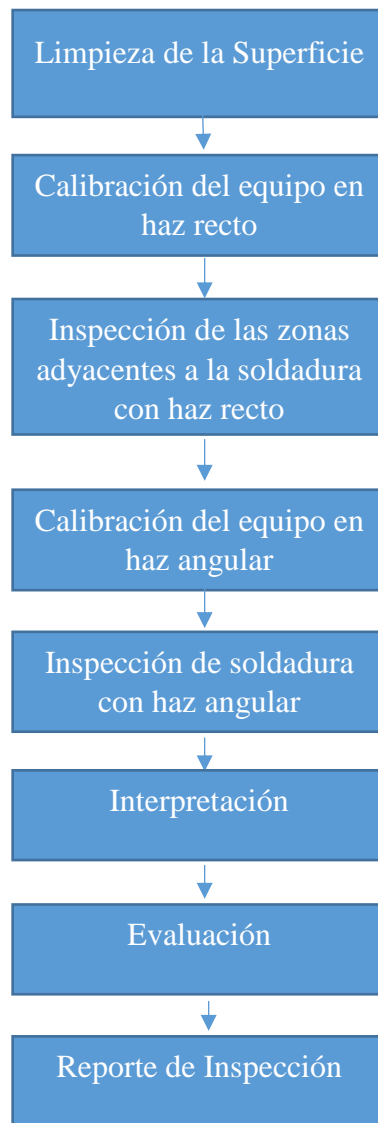
En la calibración del equipo para la inspección se deberá considerar lo siguiente [4]:

- a) **Control de rechazo (reject)**, este parámetro deberá estar apagado en el momento de la calibración, ya que podría interferir en la linealidad de amplitud del equipo.
- b) **Técnica**, el operador deberá realizar la calibración en sensibilidad y en distancia a través de los bloques de referencia antes de la inspección en la soldadura.
- c) **Recalibración**, deberá ser realizada luego de cualquiera de las siguientes condiciones:
  - Cambio de técnicos operadores
  - Superar las 2 horas de uso
  - Perturbaciones eléctricas
- d) **Inspección del metal base con haz recto**, la calibración en distancia se deberá realizar en el área de inspección, la pantalla debe presentar al menos dos veces el espesor del material base, y la sensibilidad deberá ser ajustada con el primer reflector (espesor total) en un porcentaje entre el 50% y 75% de la EVP.
- e) **Calibración para la inspección con haz angular**
  - **Calibración en distancia**, deberá ser realizada a través de un bloque IIW o equivalente, utilizando una distancia menor y una mayor para la estandarización, usualmente 1 y 4 pulg. o, 4 y 9 pulg. dependiendo el bloque seleccionado.
  - **Calibración en Sensibilidad. Nivel de referencia cero "b"**, deberá ser ajustado en el ángulo seleccionado con el reflector del agujero de 0.060 pulg. [1,5 mm] del bloque de referencia, llevando esta lectura a un porcentaje entre el 40% y 60 % de la EVP.

La interpretación y evaluación de las indicaciones deberá ser realizada como continúa:

- a) **Interpretación**, toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.
- b) **Evaluación**, AWS D1.1 establece una forma única de evaluar las discontinuidades encontradas por el método de ultrasonido en comparación a otros códigos, únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes deberán ser evaluadas. Se debe obtener el valor de clasificación de la indicación "d" a través de las ecuaciones (2) o (3) según aplique, y compararlo con los criterios de aceptación establecidos en el código.
  - **Instrumentos con ganancia en dB:**
$$d = a - b - c \quad (2)$$
  - **Instrumentos con atenuación en dB:**
$$d = b - a - c \quad (3)$$
  - **Nivel de Indicación "a"**: Refiere a la ganancia en decibeles que se muestra en el equipo al momento que se tiene presente el reflector máximo de una discontinuidad.
  - **Nivel de Referencia Cero "b"**: Refiere a la ganancia en decibeles que muestra el equipo al momento que el reflector de referencia conocido (orificio 1/16" Bloque IIW) alcance del 40% al 60% de la amplitud de la escala vertical de pantalla en la estandarización.
  - **Factor de Atenuación "c"**: Se obtiene a partir de lectura de la trayectoria acústica del sonido, se debe sustraer 1 pulg [25 mm] de este valor, y multiplicando el restante por 2 en el caso de unidades americanas y por 0.08 en el caso de unidades del sistema internacional.
- c) **Criterios de aceptación y rechazo**, serán establecidos de acuerdo con el Código AWS D1.1. parte C, numeral 6.13.1, Tabla 6.2 y numeral 6.13.2, Tabla 6.3, ver Anexo 4 y 5.
- d) **Registros**, se deberá realizar en un formato específico el cual contenga como mínimo la información del equipo, accesorios, parámetros de calibración, fechas, indicaciones encontradas y nombre del técnico que realizó el trabajo

En la Figura 34, se indica el diagrama de flujo con la secuencia principal del proceso de inspección por ultrasonido en soldadura.



**Figura 34.** Secuencia de inspección por ultrasonido. Elaborado por: Byron Miño

### **2.3 Partes de un procedimiento de inspección**

Se los conoce también como procedimientos operativos, son documentos en los cuales se explica cómo se desarrolla una actividad o un proceso para que esta se ejecute de forma independiente, ordenada y sin improvisaciones, además, los mismos deben contar con una estructura definida para que sea entendible y manejable por cualquier usuario [30].

Las partes principales que todo procedimiento de inspección debe contener además de los requerimientos establecidos en base a un código, norma, estándar o especificación, son las siguientes [30]:

- **Portada:** Es la primera página del procedimiento, en ella se puede incluir el título, código, fecha de elaboración, número de revisión, índice del contenido, número de páginas, nombre y firmas de las personas que lo han redactado, revisado y aprobado.
- **Distribución:** Contiene la descripción de todos los departamentos o personas a quienes se les entregará un ejemplar del procedimiento.
- **Objetivo:** describe en forma infinitiva el porqué de realizar el procedimiento, es decir su propósito de manera resumida.
- **Alcance:** Describe todo lo que está al alcance del procedimiento y sus limitaciones.
- **Referencias:** Se enlistan aquellas normas, códigos, especificaciones, prácticas recomendadas, u otros documentos que han influido en el desarrollo del procedimiento.
- **Definiciones:** Se da una breve definición de las palabras técnicas presentes en el procedimiento para facilidad del lector.
- **Responsabilidades:** Se establecen las responsabilidades por cargo o departamento, de tal manera que se pueda clasificar las actividades que describe el procedimiento, por ejemplo, para los procedimientos de END, las responsabilidades deben ser establecidas de acuerdo con el nivel de calificación por cada método.
- **Desarrollo:** Describe de manera específica las actividades a realizar, es la parte más importante del procedimiento y a su vez la que ocupa más espacio dentro del documento.
- **Anexos:** Incluye aquellos documentos que se consideran importantes para la comprensión del procedimiento pero que por su tamaño no es posible incluir dentro de la descripción del mismo, por ejemplo, tablas, esquemas, gráficos, criterios de aceptación, entre otros.

## **2.4 Validación de un procedimiento de inspección**

La validación consiste en verificar que un procedimiento desarrollado a partir de códigos, normas, especificaciones, prácticas recomendadas, o inclusive la propia experiencia es adecuado para un uso previsto, es decir, que se lo pueda utilizar para conseguir un objetivo, la validación a su vez requiere la comparación de los resultados obtenidos para llegar a una conclusión final.

La forma más efectiva de validar los procedimientos de END es con la comparación directa entre los resultados de otros métodos en una misma muestra, es decir, comparando el resultado de las discontinuidades obtenidas en probetas de soldadura a través de dos métodos que logren detectar el mismo tipo de fallas en referencia a su morfología y localización.

Es necesario elaborar cuatro probetas de soldadura, una para cada procedimiento a validar, cada probeta debe ser fabricada de acuerdo con los lineamientos del Código AWS D1.1, y a su vez debe contener una identificación y número de serie únicos.

Los métodos seleccionados para efectuar la validación de los procedimientos son:

- Radiografía para los procedimientos de líquidos penetrantes y ultrasonido,
- Líquidos penetrantes para el procedimiento de inspección visual, y
- Líquidos penetrantes fluorescentes para el procedimiento de partículas magnéticas.

Esta selección fue realizada en base al tipo de discontinuidad que se pretende encontrar en cada una de las probetas de soldadura, adicional es necesario mencionar que cada una de ellas contiene un reporte de inspección elaborado y firmado por una persona calificada y certificada como nivel II bajo la práctica escrita ASNT SNT-TC-1A en el método correspondiente, de esta manera se logra minimizar el error y la incertidumbre de los resultados. Tanto el reporte como una copia de la certificación del inspector pueden ser visualizados en el Anexo 6.



La comparación de los resultados será dimensional, los valores de longitud expresados en milímetros de las discontinuidades reportadas por la persona certificada para el método 1 serán considerados como referencia (valor referencia), asignándoles un 100% de detección, mientras que los valores en longitud de las discontinuidades obtenidas de la aplicación del método 2 bajo los procedimientos descritos en el presente trabajo (valor procedimiento), por cada método, serán comparados frente a la referencia para lograr obtener el porcentaje de detección como se expresa en la ecuación (2):

$$\% \text{ de Deteccion Método 2 vs. Método 1} = \frac{\text{valor procedimiento}}{\text{valor referencia}} * 100\% \quad (2)$$

Los resultados se mostrarán en una tabla, además del tipo de discontinuidad y el promedio de los porcentajes, dicho valor deberá ser al menos del 80% versus a la referencia para que los procedimientos sean considerados válidos.

Los resultados de las discontinuidades caracterizadas como no relevantes o falsas, no serán registrados en los reportes de inspección de la persona certificada, ni en la tabla de validación del método, debido a que no se los considera necesarios para esta aplicación.

## **2.5 Interpretación y evaluación de los resultados de inspección**

La interpretación consiste en determinar si una discontinuidad es falsa, relevante o no relevante, para posteriormente evaluarla en base a un código, norma, o especificación.

La evaluación será realizada en cada probeta a partir de los resultados obtenidos en la aplicación del procedimiento de inspección, estos deberán ser contrastados frente a los criterios de aceptación del Código AWS D1.1 para establecer una condición final, el análisis será realizado a través de una tabla que indique el tipo de discontinuidad, sus dimensiones, el criterio del código, y su condición final.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se desarrollarán los procedimientos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido en base al Código AWS D1.1, especificando en detalle los pasos para llegar a la validación mediante el uso de bloques y probetas certificadas para cada método, obtener los resultados de la aplicación del proceso, y evaluar las discontinuidades encontradas de acuerdo a los criterios establecidos.

#### **3.1 Procedimiento de Inspección Visual**

##### **3.1.1 Objetivo**

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección visual directa en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

##### **3.1.2 Alcance**

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades de tipo superficial en juntas soldadas de ranura o de filete en aceros estructurales mayores que 1/8 pulg. (3 mm de espesor), en base a lo detallado en el Código AWS D1.1.

##### **3.1.3 Requisitos del personal**

El personal que utilice este procedimiento deberá estar capacitado, calificado y certificado como nivel I o II en inspección visual (VT), cumpliendo con lo establecido en la práctica recomendada SNT-TC-1A, de la ASNT.

##### **3.1.4 Responsabilidades del personal**

- **Nivel I.-** Es responsabilidad del nivel I realizar la inspección visual aplicando este procedimiento de manera estricta y siguiendo los lineamientos establecidos en el mismo, no posee la facultad de realizar la interpretación y evaluación de los resultados en ninguna circunstancia, ni tampoco firmar un reporte de inspección.
  
- **Nivel II.-** Es responsabilidad del Nivel II, además de lo establecido para el nivel I, interpretar y evaluar las discontinuidades encontradas de acuerdo con el Código

aplicable, además de reportar las condiciones finales en un formato de inspección que contenga su nombre, firma, y número de registro que lo faculta como nivel II.

### **3.1.5 Documentos de referencia**

- **AWS D1.1.** "Structural Welding Code Steel"
- **SNT-TC-1A.** "Recommended Practice No. SNT-TC-1A, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel"

### **3.1.6 Equipos y materiales**

- Luxómetro/fotómetro
- Linterna
- Regla, flexómetro, calibrador pie de rey
- Kit de galgas para soldadura
- Magnificador de 5x y 10x
- Marcador para metal
- Material de limpieza
- Equipo de protección personal, guantes y gafas.

### **3.1.7 Requisitos de control de calidad del proceso previo a la inspección**

- **Iluminación**

La intensidad de luz visible natural, o artificial debe ser de al menos 100fc (1000 lux), obtenga la lectura con un luxómetro/fotómetro y registre el valor obtenido.

### **3.1.8 Áreas de inspección**

#### **a) Material base**

Las zonas del material base adyacente a la soldadura deben ser inspeccionadas en busca de daños físicos, en caso de considerar necesario se deben tomar medidas cuantitativas para registro.

**b) Soldadura nueva**

- **De filete**, se debe inspeccionar el perfil del filete, los tamaños requeridos de las piernas y gargantas, espaciamientos o longitudes, discontinuidades de la soldadura.
- **De ranura**, se debe inspeccionar la alineación, el refuerzo, discontinuidades de la soldadura, en aquellos casos que sea posible, se debe inspeccionar la raíz por el lado inferior.

**c) Soldadura en servicio**

Se debe inspeccionar en busca de daños mecánicos, fisuras y corrosión.

**3.1.9 Desarrollo de la inspección****a) Limpieza del área de inspección**

Todas las superficies deben estar completamente limpias, libres de cualquier contaminante como polvo, grasa, o arena, que pueden afectar la certeza de los resultados obtenidos en la inspección. Utilice cualquier método de limpieza que no afecte el material, sea esta mecánica, química, o con solventes.

**b) Inspección visual directa**

Realice la inspección a una distancia no mayor a 24 pulgadas [600 mm] con respecto al ojo y con un ángulo no menor a 30°, en caso de ser necesario utilice linternas o luz auxiliar para obtener los requerimientos de intensidad de luz establecidos, también se pueden utilizar espejos para mejorar el ángulo de visión y magnificadores para realzar las indicaciones.

En caso de encontrar discontinuidades como, por ejemplo, fisuras, poros, mordeduras, faltas de fusión, entre otros, proceda a la interpretación y evaluación de las mismas.

Finalmente, realice una inspección visual dimensional de la soldadura utilizando el kit de galgas para obtener valores medibles de los tamaños requeridos, y evalúelos de acuerdo código aplicable.

**c) Interpretación de las indicaciones**

Toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.

**d) Evaluación de las indicaciones**

Únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes deberán ser evaluadas de acuerdo con los criterios del código aplicable.

**e) Marcado**

Cada junta de soldadura inspeccionada debe ser identificada de forma única y con una abreviatura que referencie su condición, la misma debe ser realizada con un marcador para metal que genere buen contraste en la superficie y no la deteriore. A continuación, se detalla el criterio para el marcado:

Número de la junta en orden consecutivo, por ejemplo: J-1, J-2, J-3...J-n.

- Junta sin indicaciones relevantes, colocar la abreviatura VT-OK.
- Junta con indicaciones relevantes, se deberá marcar cada indicación relevante delimitando la misma, y adicional colocar la abreviatura VT-REPARAR.

**3.1.10 Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1:**

**Anexo 1.** Criterios de aceptación para inspección visual de conexiones estáticas y cíclicamente cargadas. (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.9 -Tabla 6.1).

**Anexo 2.** Criterios de aceptación para inspección visual de conexiones tubulares bajo todas las cargas. (Referencia: AWS D1.1 Sección 9. Parte F. 9.25-Tabla 9.16).

**Anexo 3.** Perfiles y programas de soldadura. (Referencia: AWS D1.1 Sección 5. 5.23. Tabla 5.8 y Tabla 5.9).

### **3.1.11 Reporte de inspección**

Los resultados de la inspección deben ser reportados en un formato específico que contenga al menos la siguiente información:

- Cliente
- Fecha de elaboración del reporte
- Fecha de inspección
- Registros de control de calidad del proceso previo a la inspección
- Procedimiento utilizado
- Norma, código, estándar aplicado
- Descripción y serie del componente inspeccionado
- Equipos utilizados
- Resultados obtenidos
- Condición final, aceptado o rechazado
- Nombre, firma y número de registro del inspector Nivel II

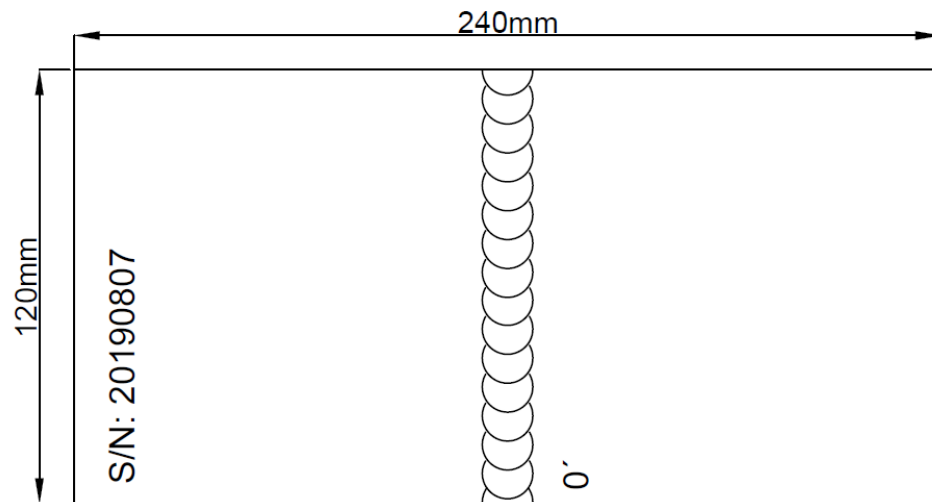
En el Anexo 7, se puede observar como ejemplo el procedimiento de inspección visual de soldadura de acuerdo con el Código AWS D1.1, en un formato específico necesario para el control de documentos, el mismo formato puede ser utilizado para los demás procedimientos de inspección por ensayos no destructivos que se detallan a continuación.

### **3.1.12 Validación del método**

La validación del método de inspección visual fue realizada comparando los resultados de las discontinuidades obtenidas por líquidos penetrantes visibles en la probeta de soldadura indicada en las Figuras 35 y 36, el reporte emitido por la persona certificada como Nivel II en PT, se evidencia en el Anexo 6.

A continuación, se detalla la información general de la probeta utilizada, materiales, herramientas, y parámetros del método de inspección visual:

- **Identificación:** Probeta N° 1
- **Número de serie:** 20190807
- **Tipo de soldadura:** SMAW, junta a tope con ranura en “ V ”
- **Material:** Acero ASTM A-36
- **Espesor:** 10mm



**Figura 35.** Esquema de Probeta N°1. Serie: 20190807. Elaborado por: Byron Miño



**Figura 36.** Probeta N°1. Serie: 20190807. Elaborado por: Byron Miño

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos:

**Tabla 1.** Resultados de la validación del método de inspección visual

<b>Líquidos Penetrantes Visibles (PT)</b>			<b>Inspección Visual (VT)</b>		
<b>N°</b>	<b>Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones [mm]</b>	<b>Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones [mm]</b>	<b>% de Detección VT vs PT</b>
1	Falta de Fusión (a 7mm de O´)	Longitud: 12	Falta de Fusión (a 7 mm de O´)	Longitud: 11 Profundidad: 1	91,66%
2	Poros (a 11mm de O´)	Diámetro: 2,5	Poros (a 11mm de O´)	Diámetro: 2	80%
3	Falta de Fusión (a 25mm de O´)	Longitud: 6	Falta de Fusión (a 26mm de O´)	Longitud: 5,5 Profundidad: 2	91,67%
4	Falta de Fusión (a 45mm de O´)	Longitud: 35	Falta de Fusión (a 26mm de O´)	Longitud: 33 Profundidad: 1	94,29%
5	Falta de Fusión (a 70mm de O´)	Longitud: 14	Falta de Fusión (a 72mm de O´)	Longitud: 13 Profundidad: 1,5	92,86%
<b>% Promedio de detección</b>					<b>90.10 %</b>

Elaborado por: Byron Miño

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 1, se puede indicar que el procedimiento de inspección visual permite al usuario la detección eficaz de las discontinuidades superficiales en soldadura, obteniéndose un porcentaje de detección del 90.10% al compararlo contra líquidos penetrantes visibles.

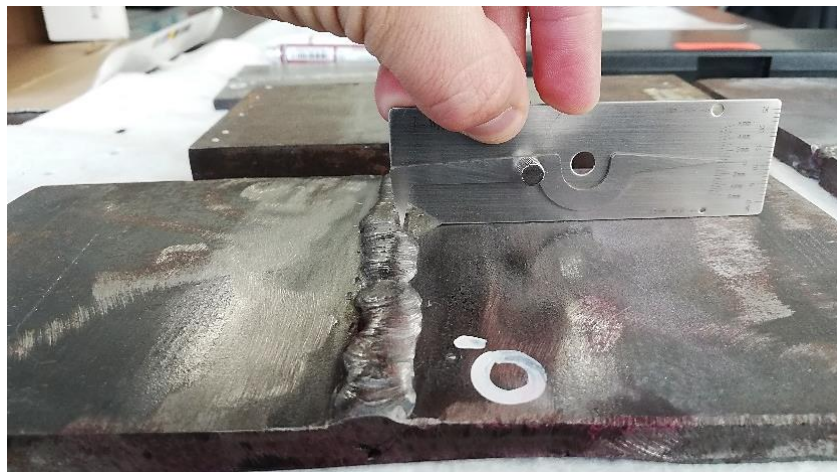
Como un parámetro adicional de la inspección visual se logró obtener la profundidad de las discontinuidades mediante el uso de una galga.



### 3.1.13 Evaluación de las discontinuidades

La evaluación de las discontinuidades obtenidas por inspección visual en la probeta N°1 fue realizada en base a los criterios de aceptación del Código AWS D1.1. Sección 6. Parte C. 6.9 -Tabla 6.1.

En la Figura 37, se indica el método de inspección visual aplicado en la probeta, y en Tabla 2, los resultados obtenidos:



**Figura 37.** Inspección Visual. Probeta N°1. Serie: 20190807. Elaborado por: Byron Miño

**Tabla 2.** Evaluación de los resultados

N°	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	Criterio de AWS D1.1	Condición
1	Falta de Fusión (a 7 mm de O´)	Longitud: 11 Profundidad: 1	Rechazada sin importar su longitud	Rechazada
2	Poro (a 11mm de O´)	Diámetro: 2	La suma de los poros visibles de 1mm o mayores en diámetro no deberán exceder de 10mm en cualquier pulgada lineal, y 20mm en 12 pulgadas de longitud de soldadura	Aceptada

3	Falta de Fusión (a 26mm de O´)	Longitud: 5,5 Profundidad: 2	Rechazada sin importar su longitud	Rechazada
4	Falta de Fusión (a 26mm de O´)	Longitud: 33 Profundidad: 1	Rechazada sin importar su longitud	Rechazada
5	Falta de Fusión (a 72mm de O´)	Longitud: 13 Profundidad: 1,5	Rechazada sin importar su longitud	Rechazada
6	Refuerzo	Altura: 6	Rmax=3mm	Rechazada
<b>Condición final</b>				Rechazada

---

Elaborado por: Byron Miño

El cordón de soldadura de la probeta N° 01 se considera rechazado en vista de que presenta un total de cinco discontinuidades del tipo de falta de fusión, condición no aceptada por el código.

Para aquellos cordones que presenten algunas discontinuidades rechazadas, pero no constituyan un porcentaje mayor que las aceptadas y que por sus características pudieran ser corregidas, se procede a una re-inspección para verificar su nueva condición, existiendo la posibilidad de aceptar la junta.

### **3.2 Procedimiento de Inspección por Líquidos Penetrantes Tipo II, Método A.**

#### **3.2.1 Objetivo**

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección por líquidos penetrantes visibles tipo II, método A en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

#### **3.2.2 Alcance**

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades de tipo superficial en juntas soldadas de ranura o de filete en aceros estructurales mayores a 1/8 pulg. (3 mm de espesor), en base a lo detallado en el Código AWS D1.1.

### **3.2.3 Requisitos del personal**

El personal que utilice este procedimiento deberá estar capacitado, calificado y certificado como nivel I o II en líquidos penetrantes (PT), cumpliendo con lo establecido en la práctica recomendada SNT-TC-1A, de la ASNT.

### **3.2.4 Responsabilidades del personal**

- **Nivel I.-** Es responsabilidad del nivel I realizar la inspección por líquidos penetrantes aplicando este procedimiento de manera estricta y siguiendo los lineamientos establecidos en el mismo, no posee la facultad de realizar la interpretación y evaluación de los resultados en ninguna circunstancia, ni tampoco firmar un reporte de inspección.
- **Nivel II.-** Es responsabilidad del Nivel II, además de lo establecido para el nivel I, interpretar y evaluar las discontinuidades encontradas de acuerdo con el código aplicable, además de reportar las condiciones finales en un formato de inspección que contenga su nombre, firma, y número de registro que lo faculta como nivel II.

### **3.2.5 Documentos de referencia**

- **ASTM E 1417.** “Standard Practice for Liquid Penetrant Testing”
- **ASTM E 165.** “Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry”
- **AWS D1.1.** “Structural Welding Code Steel”
- **SNT-TC-1A.** “Recommended Practice No. SNT-TC-1A, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel”

### **3.2.6 Equipos y materiales**

- Luxómetro/fotómetro
- Linterna
- Regla, flexómetro, calibrador pie de rey
- Termómetro infrarrojo o equivalente
- Líquido penetrante visible, de acuerdo al listado AMS 2644

- Revelador Forma "d" o Forma "e", de acuerdo al listado AMS 2644
- Cleaner limpiador, de acuerdo al listado AMS 2644
- Marcador para metal
- Material de limpieza libre de pelusas
- Equipo de protección personal, guantes y gafas

### **3.2.7 Requisitos de control de calidad del proceso previo a la inspección**

#### **- Iluminación**

La intensidad de luz visible natural, o artificial debe ser de al menos 100 fc [1076 lux], obtenga la lectura con un luxómetro/fotómetro y registre el valor obtenido.

### **3.2.8 Áreas de inspección**

Las superficies a inspeccionar serán únicamente los cordones de soldadura, nuevos o en servicio.

### **3.2.9 Desarrollo de la inspección**

#### **- Limpieza del área de inspección**

Todas las superficies deben estar completamente limpias, libres de grasa, polvo, arena, pintura o cualquier recubrimiento que pueda afectar la certeza de los resultados obtenidos en la inspección, o interfiera en el ingreso del líquido en la posible discontinuidad.

Aplique solvente de manera directa en el área a inspeccionar, en caso de presencia de contaminantes de difícil remoción como óxido, o salpicaduras, podría utilizar un cepillo de alambre para mejorar la limpieza.

Deje que actúe el solvente para que remueva la suciedad de las áreas de interés de la pieza, posteriormente realice la limpieza con un paño limpio y seco (liencillo o papel).

Deje que el área a inspeccionar se seque por lo menos 5 minutos antes de aplicar el penetrante.

**a) Verificación de la temperatura del componente a inspeccionar**

Verifique la temperatura del componente a inspeccionar se encuentre en el rango entre 4 y 52 °C [40 y 125 °F] utilizando un termómetro infrarrojo, o equipo equivalente, este valor debe ser registrado en el reporte de inspección.

**b) Aplicación del penetrante**

Aplique el líquido en la superficie a inspeccionar por cualquiera de las siguientes formas: aspersión, inmersión, o con una brocha, no es relevante como se lo aplique siempre y cuando cubra el área de manera completa y uniforme evitando el encharcamiento.

**c) Tiempo de permanencia del penetrante**

Una vez aplicado el líquido penetrante es necesario esperar un tiempo para que el líquido que se encuentra en la superficie ingrese en las posibles discontinuidades.

Por ninguna causa el tiempo de permanencia podrá ser menor a 10 minutos para temperaturas entre 4 y 52 °C [40 y 125 °F] y 20 minutos para temperaturas entre los 4,4 y 10 °C [40 y 50 °F]. Tome como consideración que el tiempo máximo de penetración es de 2 horas, en caso de superar este tiempo se debe reprocesar el método.

**d) Remoción Del Penetrante**

Una vez transcurrido el tiempo de permanencia proceda a la remoción del exceso de penetrante de forma manual, este paso debe realizarse con un trapo seco libre de pelusas, y luego con un paño humedecido con agua realizando pasadas uniformes y en una sola dirección, hasta que se permita visualizar la superficie del metal, pero evitando retirar el líquido que se encuentra dentro de las discontinuidades.

Verifique la adecuada remoción del exceso de penetrante utilizando luz blanca sea natural o artificial con intensidad mínima de 100 fc [1076 lx].

**e) Secado**

Los componentes bajo inspección deben ser secados antes de la aplicación del revelador, realice este proceso exponiéndolos al aire a temperatura ambiente, el tiempo aproximado debe ser al menos de 5 minutos.

**f) Aplicación del revelador**

Utilice revelador no acuoso de la Forma "d" o Forma "e", aplíquelo después que el exceso de penetrante haya sido removido y la superficie se encuentre seca. Los tiempos de revelado deben ser de mínimo 10 minutos y máximo 1 hora.

Para el caso de líquido penetrante tipo II utilizado en este procedimiento el revelador debe ser aplicado como una capa uniforme la cual genere un contraste blanco adecuado en la superficie de inspección. La uniformidad y el espesor de esta capa es muy importante para los resultados de la inspección, por lo cual, en caso de evidenciar espesor excesivo de manera que las indicaciones no puedan ser visualizadas correctamente, el componente debe ser limpiado y reprocesado; por otra parte, en caso de que se evidencie falta de revelador se debe colocar otra capa de manera uniforme hasta lograr el contraste deseado.

**g) Interpretación de las indicaciones**

Toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.

**h) Evaluación de las indicaciones**

Únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes deberán ser evaluadas de acuerdo con los criterios del código aplicable.

**i) Marcado**

Cada junta de soldadura inspeccionada debe ser identificada de forma única y con una abreviatura que referencie su condición, la misma debe ser realizada con un marcador para metal que genere buen contraste en la superficie y no la deteriore. A continuación, se detalla el criterio para el marcado:

Número de la junta en orden consecutivo, por ejemplo: J-1, J-2, J-3...J-n.

- Junta sin indicaciones relevantes, colocar la abreviatura PT-OK.
- Junta con indicaciones relevantes, se deberá marcar cada indicación relevante delimitando la misma, y adicional colocar la abreviatura PT-REPARAR.

#### **j) Limpieza posterior**

Limpie el área de inspección cuando la examinación ha concluido, remueva reveladores y residuos si son perjudiciales para operaciones subsiguientes.

Esto es particularmente importante cuando el penetrante residual o revelador puedan combinarse con otros factores en servicio que provoquen corrosión. Una técnica apropiada como enjuague de agua, rocío de agua o remojo de solvente pueden ser empleados.

#### **3.2.10 Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1:**

**Anexo 1.** Criterios de aceptación para inspección visual de conexiones estáticas y cíclicamente cargadas. (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.9 -Tabla 6.1).

#### **3.2.11 Reporte de inspección**

Los resultados de la inspección deben ser reportados en un formato específico que contenga al menos la siguiente información:

- Cliente
- Fecha de elaboración del reporte
- Fecha de inspección
- Registros de control de calidad del proceso previo a la inspección
- Procedimiento utilizado
- Norma, código, estándar aplicado
- Descripción y serie del componente inspeccionado
- Equipos utilizados

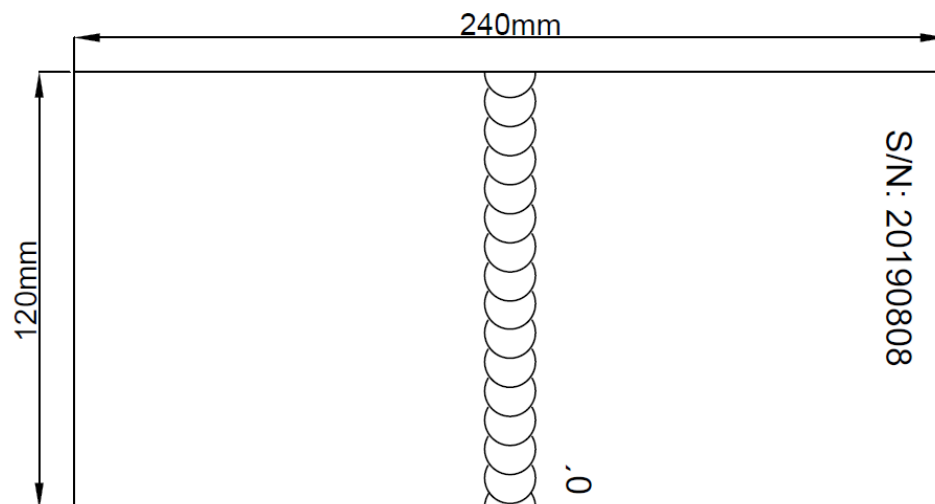
- Resultados obtenidos
- Condición final, aceptado o rechazado
- Nombre, firma y número de registro del inspector Nivel II

### 3.2.12 Validación del método

La validación del método de líquidos penetrantes visibles fue realizada comparando los resultados de las discontinuidades obtenidas por el método de radiografía en la probeta de soldadura indicada en las Figuras 38 y 39, el reporte emitido por la persona certificada como Nivel II en RT, se evidencia en el Anexo 6.

A continuación, se detalla la información general de la probeta utilizada:

- **Identificación:** Probeta N° 2
- **Número de serie:** 20190808
- **Tipo de soldadura:** SMAW, junta a tope con ranura en “ V ”
- **Material:** Acero ASTM A-36
- **Espesor:** 12mm



**Figura 38.** Esquema de Probeta N°2. Serie: 20190808. Elaborado por: Byron Miño





**Figura 39.** Probeta N°2. Serie: 20190808. Elaborado por: Byron Miñ

En la Tabla 3, se muestran los resultados obtenidos:

**Tabla 3.** Resultados de la validación del método de líquidos penetrantes visibles

N°	Radiografía		Líquidos Penetrantes Visibles		
	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	% de Detección PT vs RT
1	Socavado (a O´)	Longitud: 7	Socavado (a O´)	Longitud: 7	100%
2	Socavado (a 9 mm O´)	Longitud: 6	Socavado (a 9 mm de O´)	Longitud: 6	100%
3	Socavado (a 28 mm O´)	Longitud: 35	Socavado (a 28 mm de O´)	Longitud: 34	97,14%
4	Socavado (a 38 mm O´)	Longitud: 10	Socavado (a 38 mm de O´)	Longitud: 10	100%
5	Socavado (a 63 mm O´)	Longitud: 16	Socavado (a 64 mm de O´)	Longitud: 15	93,75%

6	Socavado / Falta de Fusión (a 75 mm O´)	Longitud: 17	Socavado / Falta de Fusión (a 75 mm O´)	Longitud: 16	94,12%
7	Socavado (a 103 mm O´)	Longitud: 10	Socavado (a 102 mm de O´)	Longitud: 10	100%
<b>% Promedio de detección</b>					<b>97,86 %</b>

---

Elaborado por: Byron Miño

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3, se puede indicar que el procedimiento de líquidos penetrantes visibles permite al usuario la detección eficaz de las discontinuidades superficiales en soldadura, obteniéndose un porcentaje de detección del 97,86% al compararlo contra radiografía.

### 3.2.13 Evaluación de las discontinuidades

La evaluación de las discontinuidades obtenidas mediante el método de líquidos penetrantes visibles en la probeta N°2 fue realizada en base a los criterios de aceptación del Código AWS D1.1. Sección 6. Parte C. 6.10 -Tabla 6.1.

En la Figura 40, se puede observar el método de inspección por líquidos penetrantes aplicado en la probeta, y en Tabla 4, los resultados obtenidos:



**Figura 40.** Inspección por Líquidos Penetrantes. Probeta N°2. Serie: 20190808. Elaborado por: Byron

Miño

**Tabla 4.** Evaluación de los resultados

N°	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	Criterio de AWS D1.1	Condición
1	Socavado (a O´)	Longitud: 7		Rechazada
2	Socavado (a 9 mm O´)	Longitud: 6	El socavado no deberá exceder de 1mm, con la	Rechazada
3	Socavado (a 28 mm O´)	Longitud: 35	siguiente excepción: el socavado no deberá	Rechazada
4	Socavado (a 38 mm O´)	Longitud: 10	exceder 2mm para cualquier longitud	Rechazada
5	Socavado (a 63 mm O´)	Longitud: 16	acumulada de hasta 50mm en cualquier longitud de 200mm.	Rechazada
6	Socavado / Falta de Fusión (a 75 mm O´)	Longitud: 17	Rechazada sin importar su longitud	Rechazada
7	Socavado (a 103 mm O´)	Longitud: 10	El socavado no deberá exceder de 1mm, con la siguiente excepción: el socavado no deberá exceder 2mm para cualquier longitud acumulada de hasta 50mm en cualquier longitud de 200mm.	
<b>Condición final</b>				Rechazada

Elaborado por: Byron Miño

### **3.3 Procedimiento de Inspección por Partículas Magnéticas Húmedas Fluorescentes**

#### **3.3.1 Objetivo**

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección por partículas magnéticas húmedas fluorescentes en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

#### **3.3.2 Alcance**

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades de tipo superficial en juntas soldadas de ranura o de filete en aceros estructurales mayores a 1/8 pulg. (3 mm de espesor), en base a lo detallado en el Código AWS D1.1.

#### **3.3.3 Requisitos del personal**

El personal que utilice este procedimiento deberá estar capacitado, calificado y certificado como nivel I o II en partículas magnéticas (MT), cumpliendo con lo establecido en la práctica recomendada SNT-TC-1A, de la ASNT.

#### **3.3.4 Responsabilidades del personal**

- **Nivel I.-** Es responsabilidad del nivel I realizar la inspección por partículas magnéticas aplicando este procedimiento de manera estricta y siguiendo los lineamientos establecidos en el mismo, no posee la facultad de realizar la interpretación y evaluación de los resultados en ninguna circunstancia, ni tampoco firmar un reporte de inspección.
- **Nivel II.-** Es responsabilidad del Nivel II, además de lo establecido para el nivel I, interpretar y evaluar las discontinuidades encontradas de acuerdo con el código aplicable, además de reportar las condiciones finales en un formato de inspección que contenga su nombre, firma, y número de registro que lo faculta como nivel II.

#### **3.3.5 Documentos de referencia**

- **ASTM E-1444;** “Standard Practice for Magnetic Particle Testing”
- **ASTM E-709 ;** “Standard Guide for Magnetic Particle Testing”

- **AWS D1.1.** “Structural Welding Code Steel”
- **SNT-TC-1A.** “Recommended Practice No. SNT-TC-1A, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel”

### **3.3.6 Equipos y materiales**

- Luxómetro/fotómetro
- Radiómetro
- Linterna o lámpara de luz ultravioleta
- Regla, flexómetro, calibrador pie de rey
- Partículas magnéticas húmedas fluorescentes
- Yugo electromagnético AC
- Indicador de flujo magnético tipo pastel
- Medidor de campo magnético residual, gaussmeter
- Tubo centrífugo
- Dispensador de partículas magnéticas húmedas
- Marcador para metal
- Material de limpieza
- Equipo de protección personal, guantes y gafas

### **3.3.7 Requisitos de control de calidad del proceso previo a la inspección**

#### **a) Iluminación**

La intensidad de luz visible en el área de inspección no debe superar los 2 fc [22 lux] y la linterna o lámpara de luz UV debe dar una lectura de intensidad mínima de  $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  a una distancia no menor a 12 pulg [30,5 cm].

Obtenga las lecturas de intensidad requeridas con un luxómetro y un radiómetro, respectivamente, y registre sus valores.

#### **b) Concentración de las partículas**

Realice la solución de partículas magnéticas suspendidas en agua, tome una muestra de 100 mL y colóquela en el tubo centrífugo, una vez transcurrido 30 minutos verifique que la concentración este dentro de los límites de 0.1 a 0.4 mL, registre el valor obtenido.

#### **c) Levantamiento del peso muerto**

El yugo electromagnético debe levantar un peso mínimo de 10 lb en AC, con una abertura de sus piernas entre 2 y 6 pulgadas, registre el resultado de la verificación.

### **3.3.8 Áreas de inspección**

Las superficies a inspeccionar serán únicamente los cordones de soldadura, nuevos o en servicio.

### **3.3.9 Desarrollo de la inspección**

#### **a) Limpieza del área de inspección**

Todas las superficies deben estar completamente limpias, libres de grasa, polvo, arena, pintura o cualquier recubrimiento que pueda afectar la certeza de los resultados obtenidos en la inspección.

Aplique solvente de manera directa en el área a inspeccionar, en caso que lo considere necesario podría utilizar un cepillo de alambre para mejorar la limpieza.

#### **b) Establecimiento del campo magnético**

El campo magnético será obtenido a través del yugo electromagnético, la magnetización a utilizar será continua, es decir, la solución de partículas debe ser aplicada cuando todavía la fuerza de magnetización está activa.

#### **c) Verificación de la dirección de flujo**

Coloque el yugo electromagnético sobre la soldadura que desea inspeccionar, magnetice el componente, rocié las partículas y verifique la dirección de las líneas de flujo del campo magnético con la ayuda del indicador tipo pastel, una vez conocidas las direcciones

considere las magnetizaciones necesarias que debe realizar para cubrir la inspección de todo el cordón de soldadura.

**d) Inspección de la soldadura**

Mientras el campo magnético está activo, rocíe partículas en el área de interés y realice la inspección, se recomienda utilizar dos magnetizaciones en zigzag para asegurar la detección de las discontinuidades en todas las direcciones, debido a que la técnica solo permite detectar discontinuidades perpendiculares a la dirección de las líneas de flujo del campo magnético.

**e) Interpretación de las indicaciones**

Toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.

**f) Evaluación de las indicaciones**

Únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes deberán ser evaluadas de acuerdo a los criterios del código aplicable.

**g) Marcado**

Cada junta de soldadura inspeccionada debe ser identificada de forma única y con una abreviatura que referencie su condición, la misma debe ser realizada con un marcador para metal que genere buen contraste en la superficie y no la deteriore. A continuación, se detalla el criterio para el marcado:

Número de la junta en orden consecutivo, por ejemplo: J-1, J-2, J-3...J-n.

- Junta sin indicaciones relevantes, colocar la abreviatura MT-OK.
- Junta con indicaciones relevantes, se deberá marcar cada indicación relevante delimitando la misma, y adicional colocar la abreviatura MT-REPARAR.

#### **h) Desmagnetización**

En caso de que sea requerido, realice la desmagnetización con la ayuda del yugo electromagnético invirtiendo la polaridad, retire el magnetismo hasta que el medidor gauss de una lectura de intensidad de campo magnético, no mayor a 3 Gauss.

#### **i) Limpieza posterior**

Limpie el área de inspección cuando la examinación ha concluido, remueva los residuos de partículas si son perjudiciales para operaciones subsiguientes.

Esto es particularmente importante cuando las partículas puedan combinarse con otros factores en servicio que provoquen corrosión. Una técnica apropiada como enjuague de agua, rocío de agua o remojo de solvente pueden ser empleados.

### **3.3.10 Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1:**

**Anexo 1.** Criterios de aceptación para inspección visual de conexiones estáticas y cíclicamente cargadas. (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.9 -Tabla 6.1).

### **3.3.11 Reporte de inspección**

Los resultados de la inspección deben ser reportados en un formato específico que contenga al menos la siguiente información:

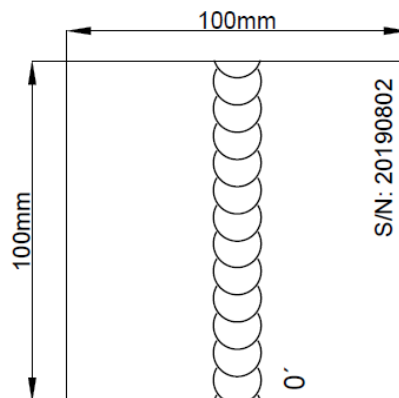
- Cliente
- Fecha de elaboración del reporte
- Fecha de inspección
- Registros de control de calidad del proceso previo a la inspección
- Procedimiento utilizado
- Norma, código, estándar aplicado
- Descripción y serie del componente inspeccionado
- Equipos utilizados
- Resultados obtenidos
- Condición final, aceptado o rechazado
- Nombre, firma y número de registro del inspector Nivel II



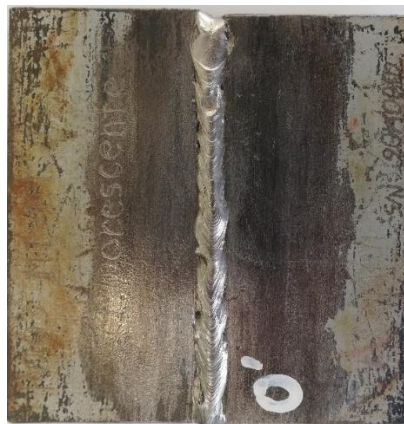
### 3.3.12 Validación del método

La validación del método de partículas magnéticas fue realizada comparando los resultados de las discontinuidades obtenidas por líquidos penetrantes fluorescentes en la probeta de soldadura indicada en las Figuras 41 y 42, el reporte emitido por la persona certificada como Nivel II en PT, se evidencia en el Anexo 6. A continuación, se detalla la información general de la probeta utilizada:

- **Identificación:** Probeta N° 3
- **Número de serie:** 20190802
- **Tipo de soldadura:** SMAW, junta a tope con ranura en “ V ”
- **Material:** Acero ASTM A-36
- **Espesor:** 6mm



**Figura 41.** Esquema de Probeta N°3. Serie: 20190802. Elaborado por: Byron Miño



**Figura 42.** Probeta N°3. Serie: 20190802. Elaborado por: Byron Miño

En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos:

**Tabla 5.** Resultados de la validación del método de partículas magnéticas

<b>Líquidos Penetrantes</b>			<b>Partículas Magnéticas</b>		
<b>Fluorescentes</b>			<b>Húmedas Fluorescentes</b>		
<b>N°</b>	<b>Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones [mm]</b>	<b>Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones [mm]</b>	<b>% de Detección MT vs PT</b>
1	Fisura (a 12 mm O´)	Longitud: 14	Fisura (a 12 mm O´)	Longitud: 14	100 %
2	Socavado (a 25 mm O´)	Longitud: 2	Socavado (a 25 mm O´)	Longitud: 2	100 %
3	Socavado (a 66 mm O´)	Longitud: 2,8	Socavado (a 66 mm O´)	Longitud: 2	71,43 %
4	Socavado (a 70 mm O´)	Longitud: 3,2	Socavado (a 25 mm O´)	Longitud: 2,8	87,5 %
5	Socavado (a 81 mm O´)	Longitud: 2	Socavado (a 81 mm O´)	Longitud: 2	100 %
6	Socavado (a 82 mm O´)	Longitud: 4	Socavado (a 82 mm O´)	Longitud: 3,5	87,5 %
<b>% Promedio de detección</b>					<b>91,07 %</b>

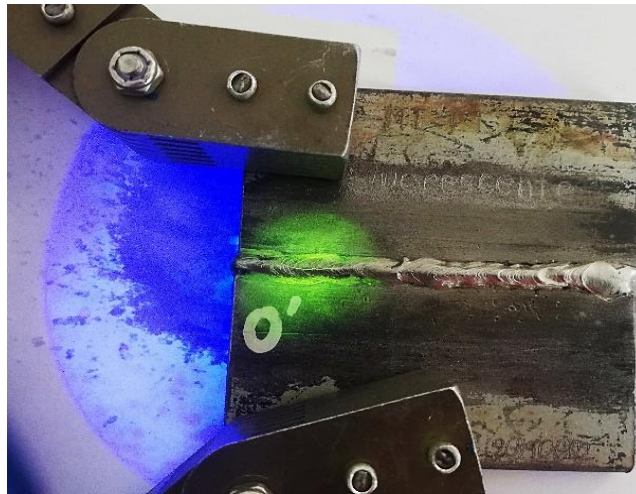
Elaborado por: Byron Miño

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 5, se puede indicar que el procedimiento de partículas magnéticas húmedas fluorescentes permite al usuario la detección eficaz de las discontinuidades superficiales en soldadura, obteniéndose un porcentaje de detección del 91,07% al compararlo contra los líquidos penetrantes fluorescentes.

### 3.3.13 Evaluación de las discontinuidades

La evaluación de las discontinuidades obtenidas mediante el método de partículas magnéticas húmedas fluorescentes en la probeta N°3 fue realizada en base a los criterios de aceptación del Código AWS D1.1. Sección 6. Parte C. 6.10 -Tabla 6.1.

En la Figura 43, se puede observar el método de inspección por partículas magnéticas aplicado en la probeta, y en Tabla 6, los resultados obtenidos:



**Figura 43.** Inspección por Partículas Magnéticas. Probeta N°3. Serie: 20190802. Elaborado por: Byron Miño

**Tabla 6.** Evaluación de los resultados

<b>N°</b>	<b>Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones [mm]</b>	<b>Criterio de AWS D1.1</b>	<b>Condición</b>
1	Fisura (a 12 mm O´)	Longitud: 14	Rechazada sin importar su longitud	Rechazada
2	Socavado (a 25 mm O´)	Longitud: 2	El socavado no deberá exceder de 1mm, con la	Rechazada
3	Socavado (a 66 mm O´)	Longitud: 2,8	siguiente excepción: el socavado no deberá	Rechazada
4	Socavado (a 70 mm O´)	Longitud: 3,2	exceder 2mm para cualquier longitud	Rechazada
5	Socavado (a 81 mm O´)	Longitud: 2	acumulada de hasta 50mm en cualquier	Rechazada
6	Socavado (a 82 mm O´)	Longitud: 4	longitud de 200mm.	Rechazada
<b>Condición final</b>				Rechazada

Elaborado por: Byron Miño

### 3.4 Procedimiento de Inspección por Ultrasonido

#### 3.4.1 Objetivo

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección por ultrasonido en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

#### 3.4.2 Alcance

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades internas en juntas soldadas de ranura de aceros estructurales mayores a 1/8 pulg. (3 mm de espesor), en base a lo detallado en el Código AWS D1.1.

### **3.4.3 Requisitos del personal**

El personal que utilice este procedimiento deberá estar capacitado, calificado y certificado como nivel I o II en ultrasonido (UT), cumpliendo con lo establecido en la práctica recomendada SNT-TC-1A, de la ASNT.

### **3.4.4 Responsabilidades del personal**

- **Nivel I.-** Es responsabilidad del nivel I realizar la inspección por ultrasonido aplicando este procedimiento de manera estricta y siguiendo los lineamientos establecidos en el mismo, no posee la facultad de realizar la interpretación y evaluación de los resultados en ninguna circunstancia, ni tampoco firmar un reporte de inspección.
- **Nivel II.-** Es responsabilidad del Nivel II, además de lo establecido para el nivel I, interpretar y evaluar las discontinuidades encontradas de acuerdo con el código aplicable, además de reportar las condiciones finales en un formato de inspección que contenga su nombre, firma, y número de registro que lo faculta como nivel II.

### **3.4.5 Documentos de referencia**

- **ASTM E-164.** "Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments"
- **ASTM E-114.** "Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Contact Testing"
- **ASTM E-587.** "Standard Practice for Ultrasonic Angle-Beam Contact Testing"
- **AWS D1.1.** "Structural Welding Code Steel"
- **SNT-TC-1A.** "Recommended Practice No. SNT-TC-1A, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel"

### **3.4.6 Equipos y materiales**

#### **a) Unidad Ultrasónica**

El equipo de ultrasonido debe ser de tipo pulso eco que se lo pueda usar con transductores en frecuencias desde 1 hasta 6 MHz. Es necesario que la pantalla permita la visualización en Scan A y mantenga estabilización interna para evitar variación de respuesta de más de  $\pm 1\text{dB}$ , luego del calentamiento

El rango en el equipo debe permitir que una desviación de 1 dB de amplitud se detecte fácilmente en la pantalla.

**b) Transductor de haz recto**

El transductor debe ser redondo o cuadrado con un área activa no menor a  $\frac{1}{2}$  pulg<sup>2</sup> (323mm<sup>2</sup>), ni más de 1 pulg<sup>2</sup> (645mm<sup>2</sup>), además deberá tener un poder de resolución capaz de mostrar tres reflectores de distancias cercanas entre sí.

**c) Transductor de haz angular**

El transductor debe ser de geometría cuadrada o rectangular desde 5/8 hasta 1 pulg. [15 hasta 25 mm] en ancho, y desde 5/8 hasta 13/16 pulg. [15 hasta 20 mm] en alto. La relación máxima entre ancho y largo deberá ser máximo de 1.2:1, y la mínima de 1:1. Además, debe estar dentro del rango de 2 a 2.25 MHz y consistir de una zapata de haz angular en ángulos de 45°, 60° y 70° con una variación máxima de  $\pm 2^\circ$ .

Cada transductor deberá ser marcado de tal manera que indique la frecuencia, ángulo de refracción, y el punto índice de emisión acústica, la distancia del borde frontal del transductor al punto índice de emisión acústica no deberá exceder de 1 pulg. [25 mm].

**e) Bloque de referencia**

Cualquier bloque para ultrasonido del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) y fabricado en conformidad con ASTM E 164 puede ser utilizado en la calibración en distancia y sensibilidad del equipo, el mismo debe incluir un barreno de 0.060 pulg. [1,5 mm], y las características de distancia, resolución y ángulo. Se podrán otros bloques si se logra verificar que alcanzan la sensibilidad equivalente a la obtenida en los tipo IIW.

Se recomienda utilizar el bloque de referencia IIW Tipo I, de acero 1018 o equivalente.

**f) Otros**

- Regla, flexómetro, calibrador pie de rey

- Gel acoplante
- Marcador para metal
- Material de limpieza
- Equipo de protección personal, guantes y gafas

### **3.4.7 Requisitos de control de calidad del proceso previo y durante la inspección**

#### **a) Poder de resolución**

Previo a la inspección, verifique que el sistema sea capaz de diferenciar 3 reflectores de agujeros en el bloque de resolución RC, estos deben ser visualizados a la mitad de la pantalla en condiciones de ajuste normales de operación, el uso del bloque RC para calibración está prohibido. Es necesario registrar y documentar el resultado de la verificación para cada transductor y zapata por una sola vez, el mismo debe incluir:

- Marca, modelo y serie del equipo
- Fabricante del transductor, tipo, tamaño, ángulo y serie
- Fecha de verificación y nombre del técnico que lo realizó

#### **b) Reflexiones internas**

Cada 40 horas de uso del equipo, verifique las reflexiones internas, una vez realizada la calibración en distancia y haber aumentado 20 dB sobre el nivel de referencia, el área después de 1/2 pulg. [12 mm] del viaje del sonido del sonido y el nivel de referencia deberá estar libre de cualquier indicación.

#### **c) Recalibración**

Realice la recalibración del equipo en caso de que haya ocurrido cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cambio de técnicos operadores
- Superar las 2 horas de uso
- Perturbaciones eléctricas

### **3.4.8 Áreas de inspección**

Las superficies a inspeccionar serán los cordones de soldadura y las zonas adyacentes a ellos, metal base.

### **3.4.9 Desarrollo de la inspección**

#### **a) Limpieza del área de inspección**

Todas las superficies deben estar completamente limpias, y libres de cualquier imperfección que impida el libre movimiento y acople del transductor de ultrasonido.

Aplique solvente de forma directa en el área inspeccionada, en caso que lo considere necesario podría utilizar un cepillo de alambre para mejorar la limpieza.

#### **b) Calibración del equipo en distancia con haz recto**

Realice la calibración en distancia con haz recto utilizando el metal base propio del área de inspección, obtenga en la pantalla señales que indiquen al menos dos veces el espesor del material.

#### **c) Calibración del equipo en sensibilidad con haz recto**

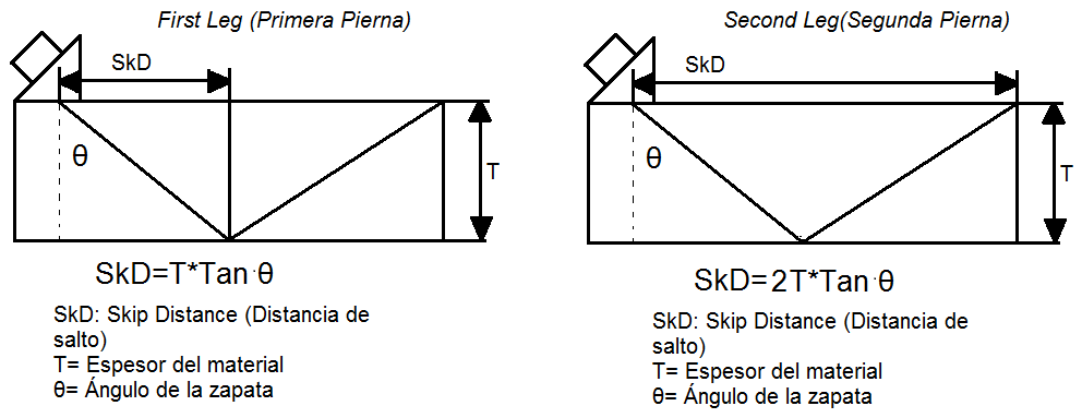
Ajuste la sensibilidad con el primer reflector de pared (espesor total) hasta obtener un porcentaje entre el 50% y 75% de la EVP.

#### **d) Inspección del metal base con haz recto**

Determine la distancia de barrido o distancia de salto (skip distance) necesaria para cubrir la inspección de todo el cordón de soldadura, coloque suficiente gel acoplante en la zona de interés y realice la inspección. Cualquier señal obtenida antes del reflector de pared (espesor total) que supere el porcentaje de su calibración en sensibilidad debe ser registrado y tomado en cuenta, ya que podría interferir en el paso del haz angular.

La Figura 38, muestra las fórmulas que deben ser utilizadas para determinar la distancia de barrido en haz angular, tanto con su primera reflexión conocida como primera pierna, y su segunda reflexión conocida como segunda pierna.





**Figura 44.** Zona de barrido. Elaborado por: Byron Miño

**e) Calibración del equipo en distancia con haz angular**

Realice la calibración de distancia con el bloque IIW Tipo I o equivalente, utilizando una distancia menor y una mayor para la estandarización, 1 y 4 pulg. o, 4 y 9 pulg.,

**f) Calibración del equipo en sensibilidad con haz angular**

Realice la calibración en sensibilidad con el ángulo seleccionado y el reflector del agujero de 0.060 pulg. [1,5 mm] del bloque IIW Tipo I o equivalente, llevando esta lectura a un porcentaje entre el 40% y 60 % de la EVP. El valor en dB obtenido en este proceso será conocido más adelante como nivel de referencia cero "b".

El control de rechazo (reject) debe estar apagado en el momento de la calibración, ya que podría interferir en la linealidad de amplitud del equipo.

Las esquinas como reflectores están prohibidas para propósitos de calibración en distancia o sensibilidad.

**g) Inspección de la soldadura**

Coloque suficiente gel acoplante sobre la zona de barrido antes determinada e inspeccione la soldadura, cualquier señal obtenida dentro de esta zona que supere el porcentaje de su

calibración en sensibilidad debe ser interpretada y evaluada de acuerdo con los criterios de aceptación del código aplicable.

#### **h) Interpretación de las indicaciones**

Toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación relevante, no relevante, o falsa.

#### **i) Evaluación de las indicaciones**

Únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes deberán ser evaluadas, obtenga el valor de clasificación de la indicación "d" a través de las ecuaciones (2) o (3) según aplique, y compárelo con los criterios de aceptación establecidos en el código aplicable.

- **Instrumentos con ganancia en dB:**

$$d = a - b - c \quad (2)$$

- **Instrumentos con atenuación en dB:**

$$d = b - a - c \quad (3)$$

- **Nivel de Indicación "a":** Refiere a la ganancia en decibeles que se muestra en el equipo al momento que se tiene presente el reflector máximo de una discontinuidad.
- **Nivel de Referencia Cero "b":** Refiere a la ganancia en decibeles que muestra el equipo al momento que el reflector de referencia conocido (orificio 1/16" Bloque IIW) alcance del 40% al 60% de la amplitud de la escala vertical de pantalla en la estandarización.
- **Factor de Atenuación "c":** Se obtiene a partir de lectura de la trayectoria acústica del sonido, se debe sustraer 1 pulg [25mm] de este valor, y multiplicando el restante por 2 en el caso de unidades americanas y por 0.08 en el caso de unidades del sistema internacional.

#### **j) Marcado**

Cada junta de soldadura inspeccionada debe ser identificada de forma única y con una abreviatura que referencie su condición, la misma debe ser realizada con un marcador para

metal que genere buen contraste en la superficie y no la deteriore. A continuación, se detalla el criterio para el marcado:

Número de la junta en orden consecutivo, por ejemplo: J-1, J-2, J-3...J-n.

- Junta sin indicaciones relevantes, colocar la abreviatura UT-OK.
- Junta con indicaciones relevantes, se deberá marcar cada indicación relevante delimitando la misma, y adicional colocar la abreviatura UT-REPARAR.

#### **k)) Limpieza posterior**

Limpie el área de inspección una vez concluida la examinación, remueva los residuos de gel acoplante si es perjudicial para operaciones subsiguientes.

Esto es particularmente importante cuando el gel acoplante utilizado pueda combinarse con otros factores en servicio que provoquen corrosión. Una técnica apropiada como enjuague de agua, rocío de agua o remojo de solvente pueden ser empleados.

#### **3.4.10 Criterios de aceptación y rechazo Código AWS D1.1:**

**Anexo 4.** Criterios de aceptación y rechazo para ultrasonido en conexiones no tubulares estáticas y cíclicamente cargadas en compresión. (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.13 -Tabla 6.2)

**Anexo 5.** Criterios de aceptación y rechazo para ultrasonido en conexiones no tubulares estáticas y cíclicamente cargadas en tensión. (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.13 -Tabla 6.3)

#### **3.4.11 Reporte de inspección**

Los resultados de la inspección deben ser reportados en un formato específico que contenga al menos la siguiente información:

- Cliente
- Fecha de elaboración del reporte

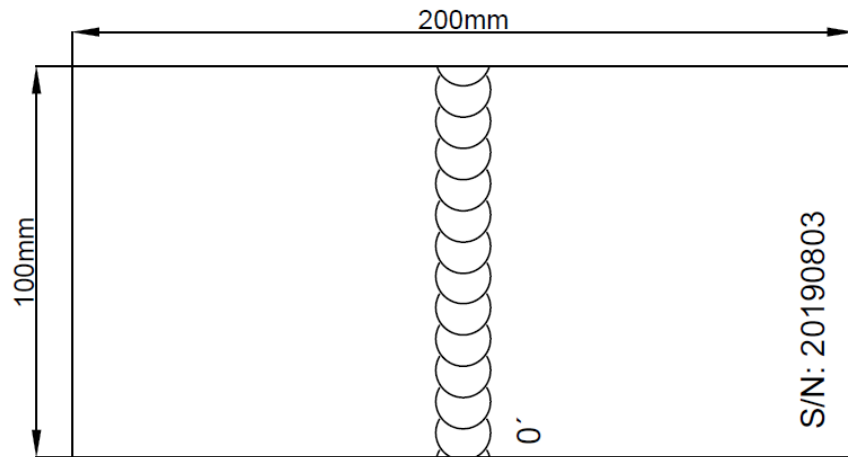
- Fecha de inspección
- Registros de control de calidad del proceso previo y durante la inspección
- Procedimiento utilizado
- Norma, código, estándar aplicado
- Descripción y serie del componente inspeccionado
- Equipos utilizados
- Resultados obtenidos
- Condición final, aceptado o rechazado
- Nombre, firma y número de registro del inspector Nivel II

#### **3.4.12 Validación del método**

La validación del método de ultrasonido fue realizada comparando los resultados de las discontinuidades obtenidas por el método de radiografía en la probeta de soldadura indicada en las Figuras 45 y 46, el reporte emitido por la persona certificada como Nivel II en RT, se evidencia en el Anexo 6.

A continuación, se detalla la información general de la probeta utilizada:

- **Identificación:** Probeta N° 4
- **Número de serie:** 20190803
- **Tipo de soldadura:** SMAW, junta a tope con ranura en doble “ V ”
- **Material:** Acero ASTM A-362
- **Espesor:** 16 mm



**Figura 45.** Esquema de Probeta N°4. Serie: 20190803. Elaborado por: Byron Miño



**Figura 46.** Probeta N°4. Serie: 20190803. Elaborado por: Byron Miño

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos:

**Tabla 7.** Resultados de la validación del método de ultrasonido

N°	Radiografía		Ultrasonido		% de Detección UT vs RT
	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	
1	Penetración Incompleta (a 50 mm O´)	Longitud: 27	Penetración Incompleta (a 50 mm O´)	Longitud: 27 Profundidad: 9,42	100 %
% Promedio de detección					100 %

Elaborado por: Byron Miño

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 7, se puede indicar que el procedimiento de ultrasonido permite al usuario la detección eficaz de las discontinuidades internas en soldadura, obteniéndose un porcentaje de detección del 100% al compararlo contra la radiografía.

#### 3.4.13 Evaluación de las discontinuidades

La evaluación de las discontinuidades obtenidas mediante el método de ultrasonido en la probeta N°4 fue realizada en base a los criterios de aceptación del Código AWS D1.1. Sección 6. Parte C. 6.13 -Tabla 6.2.

En la Figura 47, se puede observar el método de inspección por ultrasonido aplicado en la probeta, y en Tabla 8, los resultados obtenidos:



**Figura 47.** Inspección por Ultrasonido. Probeta N°4. Serie: 20190803. Elaborado por: Byron Miño

**Tabla 8.** Evaluación de los resultados

N°	Discontinuidad	Dimensiones [mm]	Criterio de AWS D1.1	Clasificación de la indicación “d”	Condición
1	Penetración Incompleta (a 50 mm O´)	Longitud: 27 Profundidad: 9,42	Clase A: +5 y menores (Rechazada sin importar su longitud)	-0,453 Clase A	Rechazada
<b>Condición final</b>					Rechazada

Elaborado por: Byron Miño

## CONCLUSIONES

Los requisitos para el desarrollo de los procedimientos de ensayos no destructivos se detallan en la cláusula 6, parte D del Código AWS D1.1, numeral 6.14.3 para ultrasonido, 6.14.4 para partículas magnéticas y 6.14.5 para líquidos penetrantes; los criterios para la evaluación de las indicaciones se detallan en la parte C, numeral 6.9 para inspección visual, 6.10 para líquidos penetrantes y partículas magnéticas, y 6.13 para ultrasonido.

Las prácticas estándar de la ASTM y los artículos del Código ASME detallan la información general y el conjunto de instrucciones para llevar a cabo las inspecciones no destructivas, ASTM E-709 y E-1444 para el método de partículas magnéticas, ASTM E-1417 y E-165 para líquidos penetrantes, ASTM E-114, E-587, E-164 para ultrasonido, y el Artículo 9 del Código ASME Sección V para inspección visual.

La validación fue realizada utilizando probetas de soldadura fabricadas de acero estructural A-36 de acuerdo con el Código AWS D1.1, dando como resultado un porcentaje de detección de 90,10 % para inspección visual vs. líquidos penetrantes visibles, 91,07% para partículas magnéticas vs. líquidos penetrantes fluorescentes, 100% para ultrasonido y 97,86% para líquidos penetrantes visibles vs. radiografía, aplicando los procedimientos desarrollados.

La soldadura de la probeta N°.20190807 inspeccionada mediante el método visual presentó cinco discontinuidades caracterizadas como faltas de fusión incumpliendo los criterios del código, por lo cual se rechaza.

La soldadura de la probeta N°.20190808 inspeccionada mediante el método de líquidos penetrantes es rechazada al presentar socavaduras de longitudes que exceden de 1mm, y en algunos casos la suma acumulada en secciones de 50 mm excede los 2 mm, superando los criterios del código.

La soldadura de la probeta N°.20190802 inspeccionada mediante el método de partículas magnéticas presenta una fisura longitudinal de 14 mm, y socavaduras que en la suma



acumulada exceden los 2 mm en secciones de 50 mm incumpliendo los criterios del código, por lo cual se rechaza.

La soldadura de la probeta N°.20190803 inspeccionada mediante el método de ultrasonido presenta penetración incompleta en la raíz, con un valor  $d = -0.453$  considerado como Clase A, para lo cual el código establece que debe ser rechazada sin importar su longitud.

## **RECOMENDACIONES**

Implementar los procedimientos de ensayos no destructivos descritos en el presente trabajo y entregarlos en un sistema de Gestión de Calidad, es importante que los mismos sean aprobados por un Nivel III ASNT.

Difundir los procedimientos desarrollados en base al Código AWS D1.1 y su correcta aplicación, para mejorar el Control de Calidad de los procesos de construcción en el país.

Realizar un estudio para obtener el criterio del porcentaje de inspección de END que se debería ejecutar en una estructura metálica a través del análisis estructural, verificando los elementos que estén sometidos a esfuerzos críticos para establecer un estándar, lo cual no se define en el Código AWS D1.1.

Realizar una revisión de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-AC, referente a fabricación y montaje de estructura metálica con la finalidad de comparar métodos y criterios en base al Código internacional AWS D1.1 para recomendar cambios específicos necesarios en la aplicación de los ensayos no destructivos.

## REFERENCIAS

- [1] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México: McGraw-Hill, 2018.
- [2] American Society for Testing and Materials, *ASTM E-1316. Standard Terminology for Nondestructive Examinations*, 2019.
- [3] American Society of Mechanical Engineers, *Section V. ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, New York-USA, 2015.
- [4] American Welding Society, *AWS D1.1. Structural Welding Code-Steel*, Miami, 2015.
- [5] The American Society for Nondestructive Testing Inc., *Recommended Practice No. SNT-TC-1A*, Ohio: The American Society for Nondestructive Testing Inc., 2016.
- [6] H. Horwitz, *Soldadura: Aplicaciones y Práctica*, México: Alfaomega, 2011, pp. 696-697.
- [7] G.A.L.Gage Company, «Galgage,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.galgage.com/measuring\\_gauges.html](https://www.galgage.com/measuring_gauges.html). [Último acceso: 08 04 2019].
- [8] American Society for Testing and Materials, *ASTM E-165. Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry*, 2012.
- [9] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Procesos de Manufactura*, México: Pearson, 2014.
- [10] G. Marlow, *Guía de Soldadura para el Técnico Profesional*, México: Limusa, 2009.
- [11] Society of Automotive Engineer, *AMS 2644E. Inspection Material, Penetrant*, Pennsylvania: SAE Publications, 2006.
- [12] American Society for Testing and Materials, *ASTM E-1444. Standard Practice for Magnetic Particle Testing*, 2016.
- [13] American Society for Testing and Materials, *ASTM E-709. Standard Guide for Magnetic Particle Testing*, 2015.

- [14] Olympus NDT, «Ultrasonic Transducers Technical Notes,» 2006.
- [15] American Society for Testing and Materials, *ASTM E-797. Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo*, 2015.
- [16] SEF; AEND; CNDT; CrSNDT; MAROVISZ; RELACRE, «Manual de Estudio. Ultrasonido,» Cartagena, 2013.
- [17] American Society for Nondestructive Testing, *Nondestructive Testing Handbook. Ultrasonic Testing Inc.*, Ohio: American Society for Nondestructive Testing, 2007.
- [18] J. Espinosa de los Monteros, *Manual Práctico de Caríntería Metálica*, Madrid: Vision Libros, 2013.
- [19] Soldexa, «Manual de Soldadura & Catálogo de Productos,» [En línea]. Available: [https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/documentation/upload/manual\\_de\\_bolsillo.pdf](https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/documentation/upload/manual_de_bolsillo.pdf). [Último acceso: 24 02 2019].
- [20] M. S. Mamlouk y J. P. Zaniwski, *Materiales para Ingeniería Civil*, Madrid: Pearson, 2009.
- [21] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de Acero NEC-SE-AC*, Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [22] SENCICO. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, *Manual de Soldador de Estructuras Metálicas*, Lima, 2013.
- [23] J. L. Feirer y J. R. Lindbeck, *Metal. Tecnología y Proceso*, Madrid: Paraninfo, 2012.
- [24] A. M. Marin Herrera, «Soldadura y Estructuras,» 2016. [En línea]. Available: <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>. [Último acceso: 19 05 2019].
- [25] Indura S.A., «Indura,» [En línea]. Available: <http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Soldadura%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf>. [Último acceso: 01 06 2019].

- [26] Á. Lázaro Martín, «Sol y Sol,» [En línea]. Available: <https://www.solysol.com.es/data/documents/Soldadura=20por=20Arco=20Sumergido=20Curso=20Completo.pdf>. [Último acceso: 19 05 2019].
- [27] É. O. García Salinas, *Elaboración del procedimiento basado en la normativa estándar internacional AWS D1.1 para la detección de fallos en juntas soldadas usando radiografía industrial*, Cuenca, 2018.
- [28] American Welding Society, «American Welding Society,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.aws.org/foundation>. [Último acceso: 24 02 2019].
- [29] American Society of Mechanical Engineers, *ASTM E-1417. Standard Practice for Liquid Penetrant Testing*, 2016.
- [30] J. J. Bernal, «Pdcahome,» 09 06 2014. [En línea]. Available: <https://www.pdcahome.com/6404/como-redactar-procedimientos/>. [Último acceso: 05 06 2019].
- [31] E. E. Andrade Zambrano , *Calibración del equipo de ultrasonido Epoch 1000i y procedimiento para el análisis de los cordones de soldadura de la estructura metálica del centro de investigaciones de ciencias agropecuarias de la universidad técnica de Manabí*, Portoviejo-Ecuador, 2016.
- [32] ESAB, «ESAB,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-fcaw-alambre-tubular-relleno-de-fundente-definiciones-del-proceso.cfm>. [Último acceso: 19 05 2019].

## ANEXOS

### Anexo 1. Criterios de aceptación para inspección visual de conexiones estáticas y cíclicamente cargadas. (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.9 -Tabla 6.1) [4]

Criterios de Aceptación para Inspección Visual										
Grado de la Discontinuidad y Criterio de la Inspección	Estáticamente Cargadas	Cíclicamente Cargadas								
(1) Prohibición de Grietas/Fisuras Cualquier grieta/fisura deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación.	X	X								
(2) Fusión de la Soldadura/ Metal Base Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X								
(3) Cráter en la Sección Transversal Todos los cráteres deberán ser llenados para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de las soldaduras de filete intermitente fuera de su longitud efectiva.	X	X								
(4) Perfiles de la Soldadura Los perfiles de la soldadura deberán estar de acuerdo con el numeral 5.24 del código AWS D1.1.	X	X								
(5) Tiempo de Inspección La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A 514, A 517 y A 709, grados HPS 100W [HPS 690W], deberán estar basados en la inspección visual realizada en no menos de 48 horas después de la terminación de soldadura.	X	X								
(6) Soldaduras de Poco Tamaño (inferiores) El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede tener menos del tamaño nominal especificado (L) sin corrección de las siguientes cantidades (U): <table><tr><td>L, Tamaño de soldadura nominal Especificada, pulg. [mm]</td><td>U, disminución permitida de L, pulg. [mm]</td></tr><tr><td>≤ 3/16 [5]</td><td>≤ 1/16 [2]</td></tr><tr><td>¼ [6]</td><td>≤ 3/32 [2.5]</td></tr><tr><td>≥ 5/16 [8]</td><td>≤ 1/8 [3]</td></tr></table> En todos los casos, la parte de la soldadura de poco tamaño no deberá exceder el 10% de la longitud de la soldadura. En soldaduras alma-ala de vigas, la reducción deberá ser prohibida en los extremos de una longitud igual a dos veces el ancho del ala.	L, Tamaño de soldadura nominal Especificada, pulg. [mm]	U, disminución permitida de L, pulg. [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	¼ [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X	X
L, Tamaño de soldadura nominal Especificada, pulg. [mm]	U, disminución permitida de L, pulg. [mm]									
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]									
¼ [6]	≤ 3/32 [2.5]									
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]									
(7) Socavado (A) Para materiales menores a 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier longitud acumulada de 12pulg. [200 mm]. Para materiales iguales a o mayores de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud de soldadura. (B) En miembros principales, el socavado deberá ser de no más de 0.01 pulg. [0.25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado deberá ser no más de 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad para todos los otros casos.	X	X								

<b>(8) Porosidad</b> <b>(A)</b> Las soldaduras a tope de penetración completa CJP en juntas de canal transversales en dirección al esfuerzo de tensión calculado no deberán tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de canal y soldaduras de filete, la suma de porosidad tubular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o mayor en diámetro, no deberá exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder ¾ pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].	X	
<b>(B)</b> La frecuencia de la porosidad tubular en soldaduras de filete no deberá exceder de 1 por cada 4 pulg. [100 mm] de la longitud de la soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder 3/32 pulg. [2.5 mm]. Excepción: para soldaduras de filete conectado refuerzos al alma, la suma de los diámetros de la porosidad tubular no debe exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder ¾ pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].		X
<b>(C)</b> Las soldaduras de canal de penetración completa CJP en juntas a tope transversal a la dirección del esfuerzo de tensión calculado no deberá tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de canal, la frecuencia de la porosidad tubular no deberá exceder de 1 en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2.5 mm].		X

Nota: Una "X" indica la aplicación para el tipo de conexión; el área que esta sombreada indica la no aplicabilidad

**Anexo 2. Criterios de aceptación para inspección visual de conexiones tubulares bajo todas las cargas.** (Referencia: AWS D1.1 Sección 9. Parte F. 9.25-Tabla 9.16) [4]

Criterios de Aceptación para Inspección Visual	
Grado de la Discontinuidad y Criterio de la Inspección	Conexiones tubulares (todas las cargas)
<b>(1) Prohibición de Grietas/Fisuras</b> Cualquier grieta/fisura deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación.	X
<b>(2) Fusión de la Soldadura/ Metal Base</b> Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X
<b>(3) Cráter en la Sección Transversal</b> Todos los cráteres deberán ser llenados para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de las soldaduras de filete intermitente fuera de su longitud efectiva.	X
<b>(4) Perfiles de la Soldadura</b> Los perfiles de la soldadura deberán estar de acuerdo con el numeral 5.23 del código AWS D1.1.	X
<b>(5) Tiempo de Inspección</b> La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A 514, A 517 y A 709, grados HPS 100W [HPS 690W ], deberán estar basados en la inspección visual realizada en no menos de 48 horas después de la terminación de soldadura.	X
<b>(6) Soldaduras de Poco Tamaño</b> El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede tener menos del tamaño nominal especificado (L) sin corrección de las siguientes cantidades (U): <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> L,  Tamaño de soldadura nominal  Especificada, pulg. [mm]  <math>\leq 3/16</math> [5]  <math>1/4</math> [6]  <math>\geq 5/16</math> [8] </div> <div style="text-align: center;"> U,  disminución permitida  de L, pulg. [mm]  <math>\leq 1/16</math> [2]  <math>\leq 3/32</math> [2.5]  <math>\leq 1/8</math> [3] </div> </div> <p>En todos los casos, la parte de la soldadura de poco tamaño no deberá exceder el 10% de la longitud de la soldadura. En soldaduras alma-ala de vigas, la reducción deberá ser prohibida en los extremos de una longitud igual a dos veces el ancho del ala.</p>	X
<b>(7) Socavado</b> (A) Para el material menor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier longitud acumulada de 12 pulg. [200 mm]. Para material igual a o mayor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud de soldadura.	
(B) En miembros principales, el socavado deberá ser de no más de 0.01 pulg. [0.25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado deberá ser no más de 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad para todos los otros casos.	X



<p><b>(8) Porosidad</b></p> <p>(A) Las soldaduras a tope de penetración completa CJP en juntas de canal transversales en dirección al esfuerzo de tensión calculado no deberán tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de canal y soldaduras de filete, la suma de porosidad tubular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o mayor en diámetro, no deberá exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder ¾ pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].</p>	
<p>(B) La frecuencia de la porosidad tubular en soldaduras de filete no deberá exceder de 1 por cada 4 pulg. [100 mm] de la longitud de la soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder 3/32 pulg. [2.5 mm].</p> <p>Excepción: para soldaduras de filete conectado refuerzos al alma, la suma de los diámetros de la porosidad tubular no debe exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder ¾ pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].</p>	X
<p>(C) Las soldaduras de canal de penetración completa CJP en juntas a tope transversal a la dirección del esfuerzo de tensión calculado no deberá tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de canal, la frecuencia de la porosidad tubular no deberá exceder de 1 en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2.5 mm].</p>	X
<p>Nota: Una "X" indica la aplicación para el tipo de conexión; el área que esta sombreada indica la no aplicabilidad</p>	

### Anexo 3. Perfiles y programas de soldadura. (Referencia: AWS D1.1 Sección 5. 5.23.

Tabla 5.8 y Tabla 5.9) [4]

Perfiles de soldadura						
Tipo de Soldadura	Tipo de Junta					
	Tope	Esquina Interna	Esquina Externa	Junta-T	Traslape	Tope con Repisa
<b>De Canal (CJP o PJP)</b>	Figura 5.4 A	Figura 5.4B <sup>b</sup>	Figura 5.4C	Figura 5.4D <sup>b</sup>	N/A	Figura 5.4G
	Programa A	Programa B	Programa A	Programa B	N/A	Ver nota c
<b>Filete</b>	N/A	Figura 5.4E	Figura 5.4F	Figura 5.4E	Figura 5.4E	N/A
	N/A	Programa C	Programa C o D <sup>d</sup>	Programa C	Programa C	N/A

a Los programas A hasta el D están dados en la tabla 5.9

b Para soldaduras de filetes de refuerzo requeridas por diseño, se aplican las restricciones de perfil aplican para cada soldadura, tope y filete separadamente.

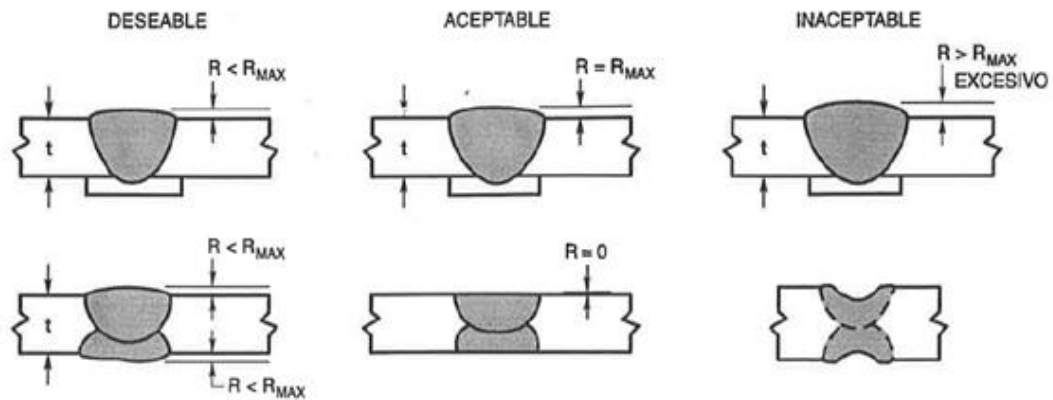
c Las soldaduras hechas usando repisas y las soldaduras hechas en posición horizontal entre vigas verticales de espesores desiguales están exentas de las limitaciones R y C. Ver figuras 5.4G y 5.4H para detalles típicos.

d Ver figura 5.4F para una descripción de donde aplica el programa C y D.

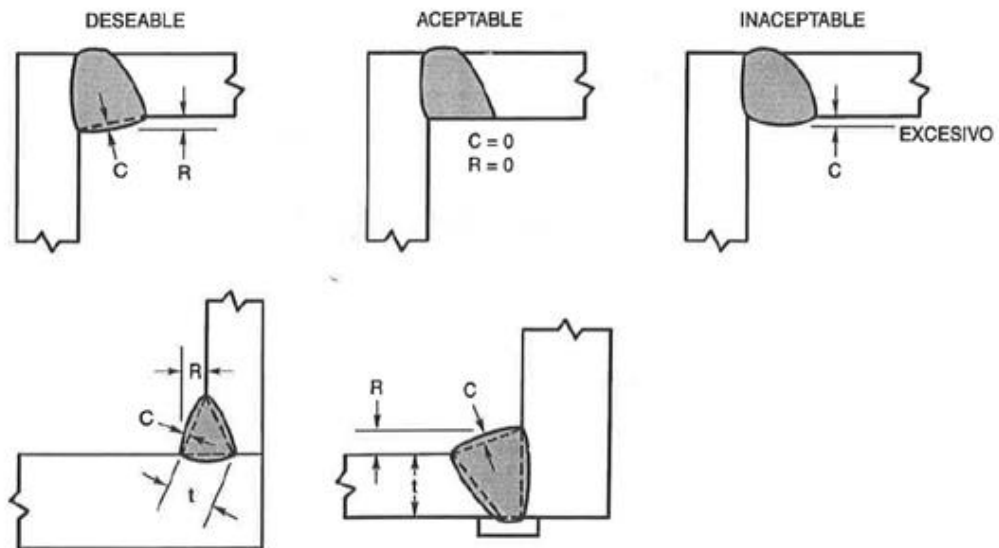
Programas de Perfiles de soldadura			
<b>Programa A</b>	(t = espesor de la placa más gruesa unida por CJP; t= tamaño de soldadura para PJP)		
	<b>t</b>	<b>R min.</b>	<b>R max.</b>
	≤ 1 pulg. [25 mm]	0	1/8 pulg. [3 mm]
	> 1 pulg. [25 mm], ≤ 2 pulg. [50 mm]	0	3/16 pulg. [5 mm]
	> 2 pulg. [50 mm]	0	1/4 pulg. [6 mm] <sup>a</sup>
<b>Programa B</b>	(t = espesor de la placa más gruesa unida por CJP; t= tamaño de soldadura para PJP, C = convexidad o concavidad permisible)		
	<b>t</b>	<b>R min.</b>	<b>R max.</b>
	< 1 pulg. [25 mm]	0	ilimitado
	≥ 1 pulg. [25 mm],	0	ilimitado
<b>Programa C</b>	(W = ancho de cara de soldadura o cordón individual de superficie; C = convexidad o concavidad permisible)		
	<b>W</b>	<b>C mín.</b>	<b>C max.b</b>
	≤ 5/16 pulg. [8 mm]	0	1/16 pulg. [2 mm]
	> 5/16 pulg. [8 mm], < 1 pulg. [25 mm]	0	1/8 pulg. [3 mm]
	≥ 1 pulg. [25 mm],	0	3/16 pulg. [5 mm]
<b>Programa D</b>	(t = espesor de la mas delgada de las dimensiones del borde expuesto; C = convexidad permisible, ver figura 5.4F)		
	<b>t</b>	<b>C max.<sup>b</sup></b>	
	Cualquier valor de t	t/2	

a Para estructuras ciclicamente cargadas, R max. para materiales >2 pulg. [50 mm] de espesor es 3/16 pulg. [5 mm].

b No hay restricción de la concavidad siempre y cuando se logre un tamaño mínimo de soldadura (considerando ambas piernas y la garganta).

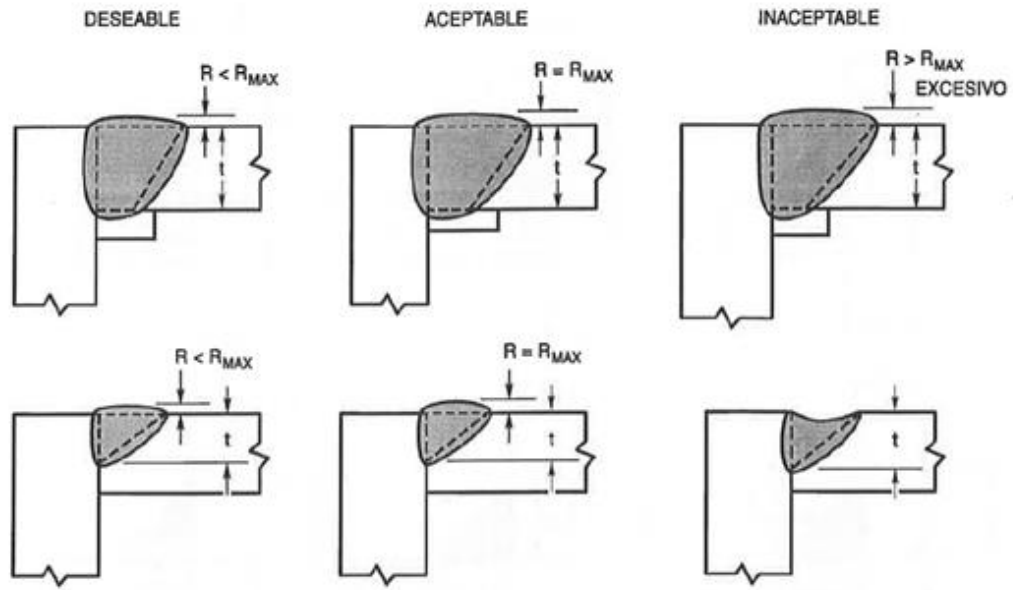


(A) PERFILES DE SOLDADURA EN JUNTA A TOPE

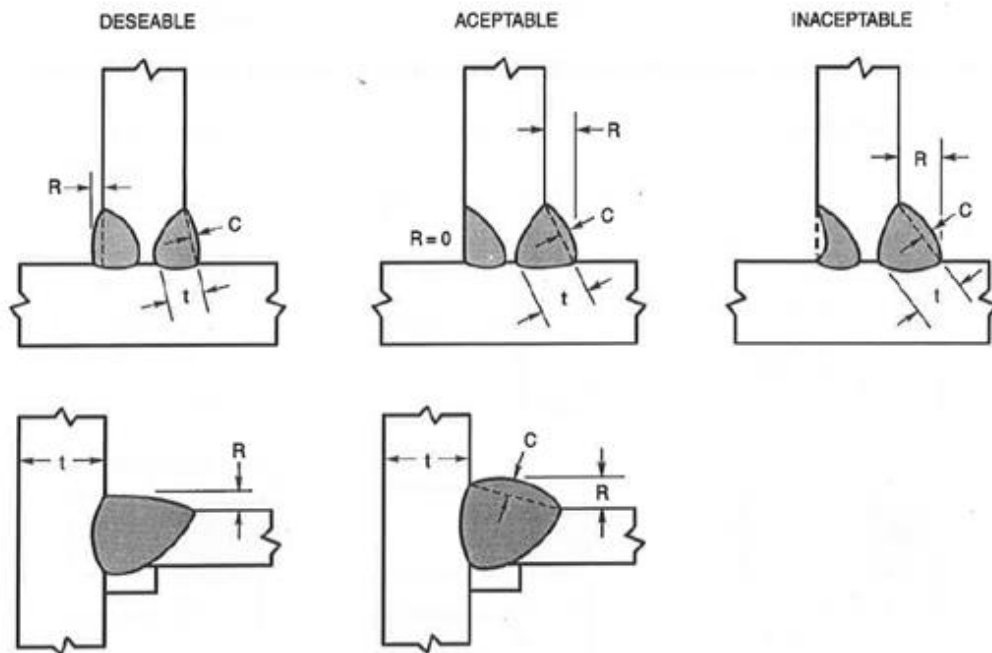


(B) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL JUNTAS DE ESQUINAS INTERIOR

Figura 5.4. Requerimientos para perfiles de Soldadura

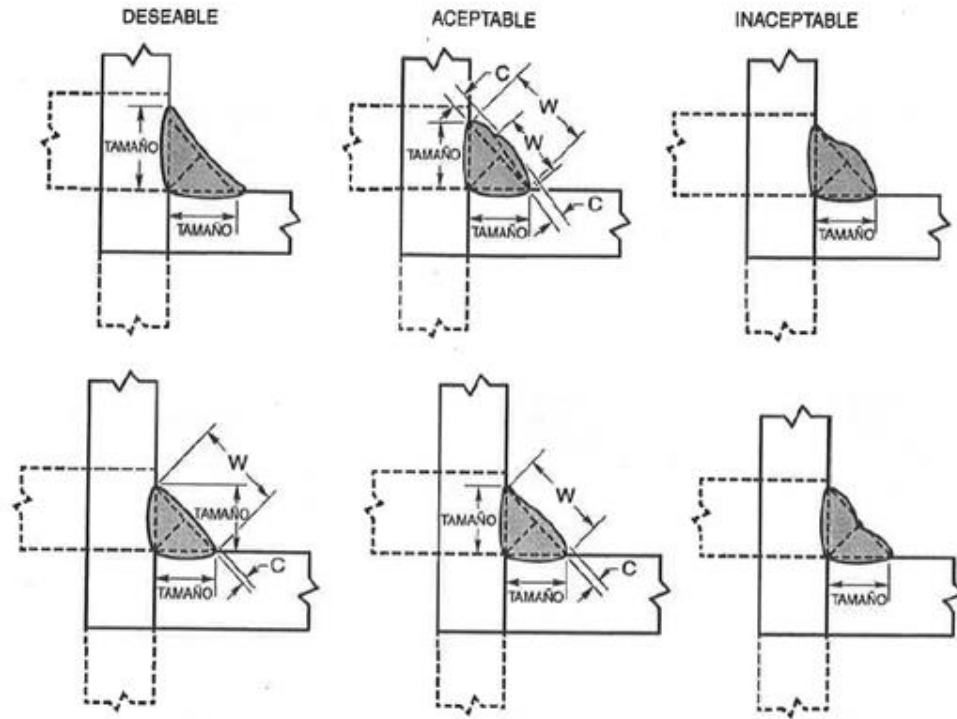


(C) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL JUNTAS DE ESQUINAS EXTERIOR

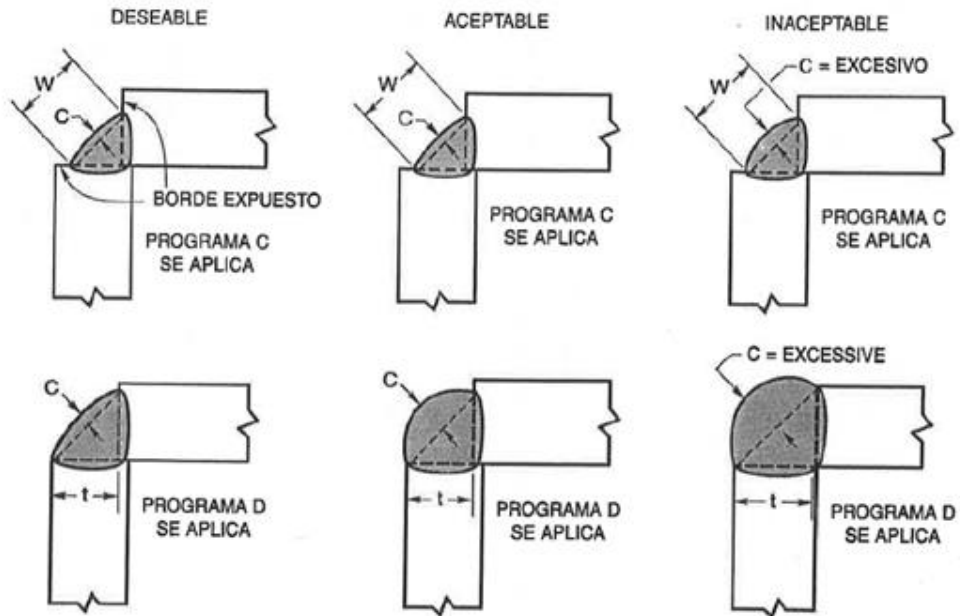


(D) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL EN JUNTAS T

Figura 5.4. Requerimientos para perfiles de Soldadura

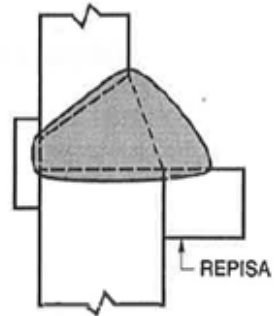
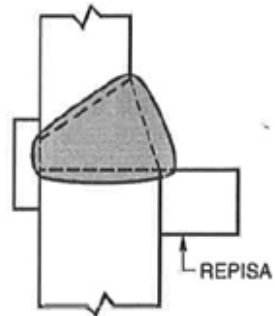
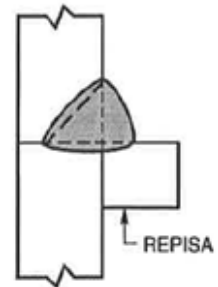
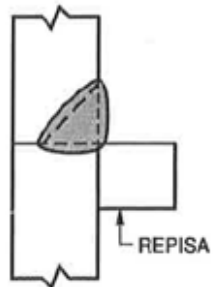
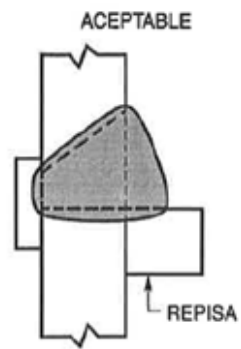
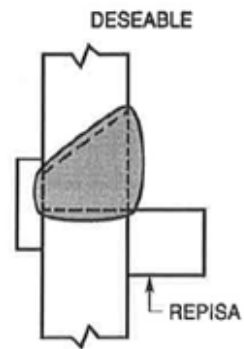


(E) PERFILES DE SOLDADURA DE FILETE JUNTAS DE ESQUINAS INTERIOR, UNIÓN DE TRASLAPE Y JUNTAS T-

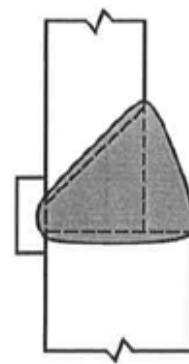
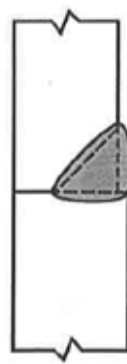
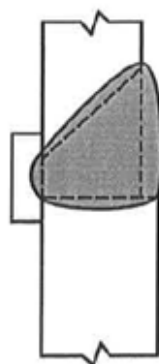


(F) PERFILES DE SOLDADURA DE FILETE JUNTAS DE ESQUINAS EXTERIOR

Figura 5.4. Requerimientos para perfiles de Soldadura



(G) DETALLES TÍPICOS DE REPISA



(H) PERFILES TÍPICOS DE SOLDADURAS DE JUNTA A TOPE ENTRE DESIGUAL ESPESORES

Figura 5.4. Requerimientos para perfiles de Soldadura

**Anexo 4. Criterios de aceptación y rechazo para ultrasonido en conexiones no tubulares estáticas y cíclicamente cargadas en compresión.** (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.13 -Tabla 6.2) [4]

Clase de Severidad de Discontinuidad	Tamaño de Soldadura <sup>a</sup> en pulgadas[mm] y Ángulo de Unidad de Búsqueda										
	5/16 hasta 3/4 [8-20]	> 3/4 hasta 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 hasta 4 [65-100]			> 4 hasta 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
<b>Clase A</b>	+5 & menor	+2 & menor	-2 & menor	+1 & menor	+3 & menor	-5 & menor	-2 & menor	0 & menor	-7 & menor	-4 & menor	-1 & menor
<b>Clase B</b>	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
<b>Clase C</b>	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 a +2	+1 +2	+3 +4	-4 a +2	-1 a +2	+2 +3
<b>Clase D</b>	+8 & mayor	+5 & mayor	+3 & mayor	+6 & mayor	+8 & mayor	+3 & mayor	+3 & mayor	+5 & mayor	+3 & mayor	+3 & mayor	+4 & mayor

a El tamaño de la soldadura en juntas a tope debe ser el espesor nominal del elemento más delgado de las dos partes a ser unidas.

Notas:

1. Las discontinuidades de Clase B y C deben estar separadas al menos por 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto cuando dos o más de tales discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud de las discontinuidades y su separación es igual o menor que la longitud máxima permisible bajo las disposiciones de las Clases B o C, la discontinuidad debe considerarse como una sola discontinuidad aceptable.
2. Las discontinuidades de Clase B y C no deben comenzar a una distancia menor que 2L desde los finales de las soldaduras que soportan esfuerzos de tensión principales, siendo L el largo de la discontinuidad.
3. Las discontinuidades detectadas al "nivel de escaneo" en el área de la cara de la raíz en una soldadura CJP con bisel doble, deben ser evaluadas usando una clasificación de la indicación 4 dB más sensible, que la descrita en numeral 6.25.6.5 del código AWS D1.1, cuando tales soldaduras son indicadas como "soldadura bajo tensión", en los planos (restar 4 dB para el nivel de referencia "d"). Esto no debe ser aplicado si la junta de soldadura está reforzada con metal sólido para quitar la cara de la raíz y se utiliza MT para verificar que se haya quitado la cara de la raíz.
4. ESW o EGW: para las discontinuidades detectadas al "nivel de escaneo" que exceden las 2 pulg. [50 mm] se deben sospechar que presentan porosidad vermicular y deberá ser examinada adicionalmente mediante radiografía.
5. Para las indicaciones que se mantienen en el monitor cuando el palpador se mueve, refiérase al numeral 6.13.1 del código AWS D1.1.

**Clase A (discontinuidades grandes)**

Cualquier indicación en esta categoría debe ser rechazada (sin tener en cuenta su longitud)

**Clase B (discontinuidades medias)**

Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 3/4 pulg. [20 mm] debe ser rechazada.

**Clase C (discontinuidades pequeñas)**

Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 2 pulg. [50 mm] debe ser rechazada.

**Clase D (discontinuidades menores)**

Cualquier indicación en esta categoría debe ser aceptada sin tener en cuenta la longitud o ubicación en la soldadura

**Niveles de Escaneo/ Exploración**

Trayectoria <sup>b</sup> en pulg. [mm]	Referencia por Encima de Cero, dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	14
>2-1/2 hasta 5 [65 – 125 mm]	19
>5 hasta 10 [125 – 250 mm]	29
>10 hasta 15 [250 – 380 mm]	39

b Esta columna se refiere a la distancia recorrida por el haz, NO al espesor del material



**Anexo 5. Criterios de aceptación y rechazo para ultrasonido en conexiones no tubulares estáticas y cíclicamente cargadas en tensión.** (Referencia: AWS D1.1 Sección 6. Parte C. 6.13 -Tabla 6.3) [4]

Clase de Severidad de Discontinuidad	Tamaño de Soldadura <sup>a</sup> en pulgadas[mm] y Ángulo de Unidad de Búsqueda										
	5/16 hasta 3/4 [8-20]	> 3/4 hasta 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 hasta 4 [65-100]			> 4 hasta 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
<b>Clase A</b>	+10 & menor	+8 & menor	+4 & menor	+7 & menor	+9 & menor	+1 & menor	+4 & menor	+6 & menor	-2 & menor	+1 & menor	+3 & menor
<b>Clase B</b>	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5
<b>Clase C</b>	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7
<b>Clase D</b>	+13 & mayor	+11 & mayor	+9 & mayor	+12 & mayor	+14 & mayor	+6 & mayor	+9 & mayor	+11 & mayor	+3 & mayor	+6 & mayor	+8 & mayor

a El tamaño de la soldadura en juntas a tope debe ser el espesor nominal del elemento más delgado de las dos partes a ser unidas.

Notas:

1. Las discontinuidades de Clase B y C deben estar separadas al menos por 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto cuando dos o más de tales discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud de las discontinuidades y su separación es igual o menor que la longitud máxima permisible bajo las disposiciones de las Clases B o C, la discontinuidad debe considerarse como una sola discontinuidad aceptable.
2. Las discontinuidades de Clase B y C no deben comenzar a una distancia menor que 2L desde los finales de las soldaduras que soportan esfuerzos de tensión principales, siendo L el largo de la discontinuidad.
3. Las discontinuidades detectadas al "nivel de escaneo" en el área de la cara de la raíz en una soldadura CJP con bisel doble, deben ser evaluadas usando una clasificación de la indicación 4 dB más sensible, que la descrita en numeral 6.25.6.5 del código AWS D1.1, cuando tales soldaduras son indicadas como "soldadura bajo tensión", en los planos (restar 4 dB para el nivel de referencia "d"). Esto no debe ser aplicado si la junta de soldadura está reforzada con metal sólido para quitar la cara de la raíz y se utiliza MT para verificar que se haya quitado la cara de la raíz.
4. Para las indicaciones que se mantienen en el monitor cuando el palpador se mueve, refiérase al numeral 6.13.2.1 del código AWS D1.1.

**Clase A (discontinuidades grandes)**

Cualquier indicación en esta categoría debe ser rechazada (sin tener en cuenta su longitud)

**Clase B (discontinuidades medias)**

Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 3/4 pulg. [20 mm] debe ser rechazada.

**Clase C (discontinuidades pequeñas)**

Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 2 pulg. [50 mm] en la mitad central o 3/4 pulg. [20 mm] en el cuarto superior o inferior del espesor de la soldadura debe ser rechazada.

**Clase D (discontinuidades menores)**

Cualquier indicación en esta categoría debe ser aceptada sin tener en cuenta la longitud o ubicación en la soldadura

**Niveles de Escaneo/ Exploración**







Trayectoria <sup>b</sup> en pulg. [mm]	Referencia por Encima de Cero, dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	20
>2-1/2 hasta 5 [65 – 125 mm]	25
>5 hasta 10 [125 – 250 mm]	35
>10 hasta 15 [250 – 380 mm]	45

b Esta columna se refiere a la distancia recorrida por el haz, NO al espesor del material



**ANEXO 6.** Reportes de inspección emitidos por un Nivel II ASNT-SNT-TC-1A y copia de certificaciones

**Reporte de inspección por líquidos penetrantes probeta N°. 20190807.**

SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MIÑO CIA LTDA IS A NON DESTRUCTIVE TESTING COMPANY									
 <p><b>SETE</b> SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MIÑO CIA LTDA. Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAC 05 C 14-903 INSPECCIÓN</p>		<p>Reporte N° : 001      Rev.: 0      P/O No: N.D.</p> <p>Origen: QUITO      Fecha: 2019-09-15</p> <p>Locación: BASE EL COCA      WO No: 19E2210</p> <p>Cliente: BYRON MIÑO      Pag. No: 1/1</p> <p>Dirección: Av. Manuel Córdova Galarza, Pusuquí, Conjunto Alisos</p>				 <p><b>ema</b> UNIDAD DE VERIFICACIÓN ACREDITADA UVIEND 001</p>			
Organismo de Inspección Calificado para el Sector Hidrocarburífero en la ARCH, Resolución Nro. ARCH-2019-0214-RES.									
REPORT DE INSPECCION CON TINTAS PENETRANTES E INSPECCION VISUAL (PT-VT) EN CORDONES DE SOLDADURA									
KIT DE INSPECCION									
PENETRANTE EMPLEADO:		TIPO: I <input type="checkbox"/> II <input checked="" type="checkbox"/>		METODO: A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>					
Removedor: N/A		Batch: N/A		Método de Remoción: AGUA					
Penetrante: SKL-WP2		Batch: 18F08K		Tiempo de Penetración: 15 Minutos					
Revelador: SKD-S2		Batch: 18D18K		Tiempo de Revelado: 10 Minutos					
EQUIPOS									
Lámpara/Interna:	-	S/N:	N/A	Fecha de Calibración:	2019-02-28	Próxima Calibración:	2020-02-28	Intensidad:	200 fc
S. Luz Natural:	X	S/N:	2000901	Fecha de Calibración:	N/A	Próxima Calibración:	N/A	Intensidad:	N/A uW/cm²
Sensor Luz UV:	-	S/N:	N/A	Fecha de Calibración:	2019-02-28	Próxima Calibración:	2020-02-28		
Radiómetro/Fotómetro:	X	S/N:	1964558	Fecha de Calibración:	2019-01-11	Próxima Calibración:	2020-01-11	Temperatura del componente:	25 °C
Pirómetro:	X	S/N:	30140866WS						
DOCUMENTOS DE REFERENCIA									
PROCEDIMIENTO DE INSPECCION: SETE-PROC-IND-PT-001									
CODIGO / ESTANDAR: AWS D1.1									
DETALLE DEL COMPONENTE INSPECCIONADO									
DESCRIPCION: PROBETA DE SOLDADURA A-35									
SERIE: S-20190807									
ESQUEMA REFERENCIAL / FOTOGRAFIA / DIMENSIONES									
IDENTIFICACIÓN DE LAS JUNTAS INSPECCIONADAS									
ITEM	ID	LONG		DEFECTO	DIMENSIONES (mm)	CONDICIÓN		OBSERVACIONES	
		in	mm			A	R		
1	J-1	4,72	120	IF	12,0	X		Localizado a 7mm de O'	
				P	2,5			Localizado a 11mm de O'	
				IF	6,0			Localizado a 28mm de O'	
				IF	35,0			Localizado a 45mm de O'	
				IF	14,0			Localizado a 70mm de O'	
 									
<p>NOMENCLATURA: A: Aprobado    R: Rechazado    C: Crack    IF: Incomplete Fusion    U: Undercut    P: Porosity    UW: Under size Weld</p> <p>Estado Final: Rechazado    Fecha de inspección: 2019-09-15 (AAAA-MM-DD)    Solicitado por: Byron Miño</p> <p>Observaciones: La junta inspeccionada presenta discontinuidades con dimensiones que superan los criterios de aceptación del código AWS D1.1, por lo cual se encuentra rechazada.</p>									
<p>INSPECCIONADO POR: </p> <p>SR. JIMY CORREA Nivel II ASNT-SNT-TC-1A REG.CEN-CC-261</p>				<p>REVISADO Y APROBADO POR: </p> <p>ING. JONNY LOPEZ Nivel II ASNT-SNT-TC-1A REG.CEN-CC-400</p>				<p>ACEPTADO POR:</p> <p>REPRESENTANTE DEL CLIENTE</p>	
<p>Matriz Quito: Naciones Unidas entre Iñaquito y Nuñez de Vela, Ed. Metropolitano, Piso 8, Oficina 813</p> <p>Sucursal El Coca: Francisco de Orellana, Km 5 1/2 Vía Lago Agrio.</p> <p>www.seteintl.com.ec</p>									
<p>SETE-FORM-IND-PT-VT-S-001      Fecha de Aprobación: 2017-02-27      Revisión: 05      This format replace: SETE-FORM-IND-PT-VT-001      Rev.04</p>									

- Certificado del inspector Nivel II



CENDE

CAPACITACION EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



Is a Non Destructive Testing Company

## NDT CERTIFICATION

REG. CEN-CC-261

This Certificate attests that

**MR. JIMMY CORREA**

Has been examined on the subject of

### PENETRANT TESTING – LEVEL II

In accordance with

**ASNT-SNT-TC-1A EDITION 2016**

CENDE CIA. LTDA. will keep the following records as evidence and information.

DESCRIPTION	GENERAL	SPECIFIC	PRACTICAL	AVERAGE
Examinations	91%	93%	95%	93%
Number of Questions	34/40	18/20	9/10	
Training	24 hours			
Experience	More than 210 hours (*)			
Visual Acuity (**)	It is required annually to verify the visual acuity records during the effect of this qualification.			

(\*) Recorded as experience acquired between 1 to 17 years.


(\*\*) Certificate issued by a competent authority for this activity.

The above person was tested on, **January 09/2018**, and he has shown the proper skills, training education and knowledge to present classroom, laboratory and on the job training program.

This certification is valid only while the above person is employed in **SETE CORREA MIÑO CIA. LTDA.**

Date: **January, 09/2018**

Due date: **January, 09/2021**

  
**Ing. Fredi Miño Salazar**  
ASNT NDT LEVEL III  
ASNT REG. 125657  
**EXAMINATOR**


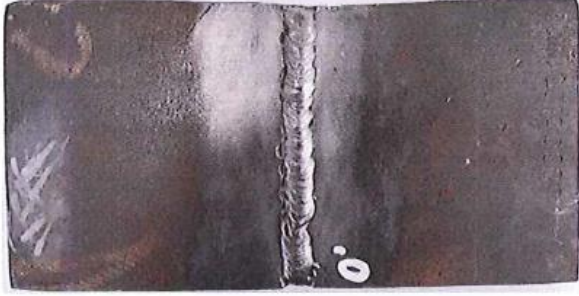
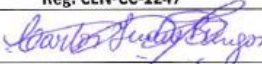
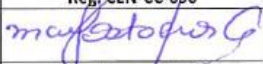
  
**Nilo Antonio Miño S.**  
GENERAL MANAGER  
**SETE CORREA MIÑO Cia. Ltda.**

Av. Naciones Unidas entre Iñaquito y Núñez de Vela. Ed. Metropolitan, Piso 8, Oficina 813  
Teléfonos: (593 2) 3822-550 Quito-Ecuador. E-mail: [fredimin@gmail.com](mailto:fredimin@gmail.com) ; [fmino@setendt.com.ec](mailto:fmino@setendt.com.ec)

[www.cendendt.com](http://www.cendendt.com)



## Reporte de inspección por radiografía probeta N°. 20190808.

 <b>OBRAPLANFIS S.A.</b> Obras y Proyectos en Ensayos No Destructivos				
CLIENTE: Byron Miño		INFORME : OB-5283-2019	PROCEDIMIENTO: OBR-PRO-RT-001	
PROYECTO: INSPECCIÓN DE PROBETAS		FECHA: 14 de Agosto del 2019	Nº DE PAGS: 01/02	
REPORTE DE INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA				
Elemento Inspeccionado: PROBETA DE SOLDADURA				
Material: ACERO A-36		Plano Aplicable: No definido	Código de Aplicable: AWS D1.1 Structural Welding Code Steel	
Espesor del material: 12mm				
Condición del Elemento:	Acabado de Soldar <input checked="" type="checkbox"/>	Después de T. Térm <input type="checkbox"/>	Después de P. Hidrostática <input type="checkbox"/>	Otras <input type="checkbox"/>
Condición de Superficie:	Soldado <input checked="" type="checkbox"/>	Esmerilado <input type="checkbox"/>	Cepillado <input type="checkbox"/>	Otros <input type="checkbox"/>
Fuente	Material radioactivo	Iridio 192	Tipo de Película	ASTM TIPO II AGFA D7
	Actividad	2.000Ci	Pantallas	PLOMO-0.05 PLG
Rayos Gamma	Tamaño del foco	3.7 mm	Imagen de Pared	SIMPLE PARED SIMPLE IMAGEN
	Equipo No.	SENTINEL 880 DELTA	No. de Exposiciones	01
	Distancia Fuente-Película	600mm	Tipo de penetrómetro	ASTM 1-B
Mínima distancia fuente al objeto: ---		Máxima distancia del objeto a la película: ----		
Localización de la inspección:				
				
Observaciones:				
IDENTIFICACION DE LAS RADIOGRAFIAS: OBRAPLANFIS S.A S#P: SOLDADURA NÚMERO PROBETA.				
Total de radiografías: 01 Radiografía Se adjunta hoja de resultados:				
<b>OBRAPLANFIS S.A.</b> Ensayos no Destructivos				
	Inspeccionado por: OBRAPLANFIS S.A.	Revisado y Aprobado por:	Aceptado por:	
Nombre:	Sr. Carlos Indio	Ing. Manuel Eras		
Cargo:	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-1247	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-690		
Firma:				
Fecha:	14 de Agosto de 2019	14 de Agosto de 2019		

CLIENTE: Byron Miño

INFORME : OB-5283-2019

PROCEDIMIENTO: OBR-PRO-RT-001

PROYECTO: INSPECCIÓN DE PROBETAS

FECHA: 14 de Agosto del 2019

Nº DE PAGS: 02/02



## REPORTE DE INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA

[illegible]

Observaciones: La junta inspeccionada superara los criterios de aceptación definidos en AWS D1.1, por lo tanto se encuentra rechazada.

LISTA DE DEFECTOS DE SOLDADURA					
IP	Penetración Incompleta	BT	Quemones o Cráteres	HB	Porosidad alargada Vermicular
IF	Fusión Incompleta	WT	Inclusiones de escoria elongadas	LC	Gritas Longitudinales.
IH	Inadecuada penetración debido al Hi-Low	IS	Inclusiones de Escoria aisladas	TC	Grietas Transversales
HL	Hi-Low	SP	Porosidad Esférica	IU	Socavado Interno
IC	Concavidad Interna	CP	Porosidad Agrupada	EU	Socavado Externo
IL	Fusión Incompleta entre pases	WH	Porosidad Tubular	DA	Acumulación de discontinuidad
FD	Tomar por defecto de película	OD	Otros defectos	P	Poro

Número total de Radiografías: 01 SOLDADURA - 01 RADIOGRAFÍA

	Inspeccionado por: OBRAPLANFIS S.A.	Revisado y Aprobado por:	Aceptado por:
Nombre:	Sr. Carlos Indio	Ing. Manuel Eras	
Cargo:	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-1247	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-690	
Firma:			
Fecha:	14 de Agosto de 2019	14 de Agosto de 2019	

- Certificado del inspector Nivel II



**CENDE**

**CAPACITACION EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**



**NDT CERTIFICATION**

REG. CEN-CC-1247

This Certificate attests that

**MR. CARLOS STILL INDIO BURGOS**

Has been examined on the subject of

**RADIOGRAPHIC TESTING – LEVEL II**

In accordance with

**ASNT-SNT-TC-1A EDITION 2016**

CENDE CIA. LTDA. will keep the following records as evidence and information.

DESCRIPTION	GENERAL	SPECIFIC	PRACTICAL	AVERAGE
Examinations	85%	87%	90%	87%
Number of Questions	34/40	26/30	9/10	
Training	40 hours			
Experience	More than 630 hours (*)			
Visual Acuity (**)	It is required annually to verify the visual acuity records during the effect of this qualification.			

(\*) Recorded as experience acquired between 1 to 17 years.

(\*\*) Certificate issued by a competent authority for this activity.


The above person was tested on, **October 16/2017**, and he has shown the proper skills, training education and knowledge to present classroom, laboratory and on the job training program.

This certification is valid only while the above person is employed in **OBRAPLANFIS S.A.**

Date: **October 16/2017**

Due date: **October 16/2020**

  
**Ing. Fredi Mino Salazar**  
ASNT NDT LEVEL III  
ASNT REG. 125657  
EXAMINATOR

  
**Ing. Jorge Eras**  
GENERAL MANAGER  
OBRAPLANFIS S.A.

Av. Naciones Unidas entre Iñaquito y Núñez de Vela. Ed. Metropolitán, Piso 8, Oficina 813  
Teléfonos: (593 2) 3822-550 Quito-Ecuador. E-mail: [fredimin@gmail.com](mailto:fredimin@gmail.com) ; [fmino@seterdt.com.ec](mailto:fmino@seterdt.com.ec)

[www.cendendt.com](http://www.cendendt.com)



# Reporte de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes probeta N°. 20190802.

SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MIÑO CIA LTDA IS A NON DESTRUCTIVE TESTING COMPANY								
 <b>SETE</b> <small>SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MIÑO CIA LTDA</small>  <small>Servicio de Acreditación Ecuadoriano</small> <small>Acreditación N° 048 QI C 14-063</small> <small>INSPECCIÓN</small>	Reporte N° : 003      Rev.: 0      P/O No: N.D. Origen : QUITO      Fecha : 2019-09-15 Locación : BASE EL COCA      WO No: 19E2210 Cliente: BYRON MIÑO      Pag. No: 1/1 Dirección: Av. Manuel Córdova Galarza, Pusuquí, Conjunto Alisos	 <b>ema</b> <small>UNIDAD DE VERIFICACIÓN</small> <small>ACREDITADA UVIEND 001</small>						
Organismo de Inspección Calificado para el Sector Hidrocarburífero en la ARCH, Resolución Nro. ARCH-2019-0214-RES.								
REPORTE DE INSPECCION CON TINTAS PENETRANTES E INSPECCION VISUAL (PT-VT) EN CORDONES DE SOLDADURA								
KIT DE INSPECCION								
PENETRANTE EMPLEADO:      TIPO:    I <input checked="" type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> METODO:    A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>								
Removedor :      N/A      Batch :      N/A      Método de Remoción :      AGUA								
Penetrante :      ZL-67      Batch :      18C057      Tiempo de Penetración :      15 Minutos								
Revelador :      SKD-S2      Batch :      18D18K      Tiempo de Revelado :      10 Minutos								
EQUIPOS								
Lámpara/Linterna:    -    S/N :    2072762 S. Luz Natural:    X    S/N :    2000901 Sensor Luz UV:    -    S/N :    N/A Radiómetro/Fotómetro:    X    S/N :    1964558 Pirómetro    X    S/N :    30140866WS		Fecha de Calibración:    2019-02-28      Próxima Calibración:    2020-02-28      Intensidad:    1,8    fc Fecha de Calibración:    N/A      Próxima Calibración:    N/A      Intensidad:    6200    uW/cm² Fecha de Calibración:    2019-02-28      Próxima Calibración:    2020-02-28 Fecha de Calibración:    2019-01-11      Próxima Calibración:    2020-01-11      Temperatura del componente:    25 °C						
DOCUMENTOS DE REFERENCIA								
PROCEDIMIENTO DE INSPECCION:    SETE-PROC-IND-PT-002 CODIGO / ESTANDAR:    AWS D1.1								
DETALLE DEL COMPONENTE INSPECCIONADO								
DESCRIPCION: PROBETA DE SOLDADURA A-36 SERIE:    S-20190802								
ESQUEMA REFERENCIAL / FOTOGRAFÍA / DIMENSIONES								
IDENTIFICACIÓN DE LAS JUNTAS INSPECCIONADAS								
ITEM	ID	LONG		DEFECTO	DIMENSIONES (mm)	CONDICIÓN		OBSERVACIONES
		in	mm			A	R	
1	J-1	3,93	100	C	14,0	X		Localizado a 12mm de O'
				U	2,0			Localizado a 25mm de O'
				U	2,8			Localizado a 66mm de O'
				U	3,2			Localizado a 70mm de O'
				U	2,0			Localizado a 81mm de O'
				U	4,0			Localizado a 82mm de O'
NOMENCLATURA:    A: Aprobado    R: Rechazado    C: Crack    U: Undercut    P: Porosity    UW: Under size Weld Estado Final :    Rechazado      Fecha de inspección:    2019-09-15      Solicitado por :    Byron Miño <small>(AAAA-MM-DD)</small>								
Observaciones :    La junta inspeccionada se encuentran rechazada de acuerdo a los criterios de aceptación del código AWS D1.1.								
INSPECCIONADO POR: <b>SETE</b> SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MIÑO CIA LTDA. SR. JIMY CORREA      Nivel II ASNT-SNT-TC 1A      REG.CEN-CC-261				REVISADO Y APROBADO POR: ING. JONNY LOPEZ      Nivel II ASNT-SNT-TC 1A      REG.CEN-CC-400		ACEPTADO POR: REPRESENTANTE DEL CLIENTE		
Matriz Quito: Naciones Unidas entre Iñaquito y Nuñez de Vela, Ed Metropolitano, Piso 8, Oficina 813 Sucursal El Coca : Francisco de Orellana, Km 5 1/2 Vía Lago Agrio. www.setendt.com.ec								
SETE-FORM-IND-PT-VT-S-001      Fecha de Aprobación: 2017-02-27      Revisión: 05      This format replace: SETE-FORM-IND-PT_VT-001      Rev.04								

- Certificado del inspector Nivel II



CENDE

CAPACITACION EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



SETE

Is a Non Destructive Testing Company

## NDT CERTIFICATION

REG. CEN-CC-261

This Certificate attests that

**MR. JIMMY CORREA**

Has been examined on the subject of

## PENETRANT TESTING – LEVEL II

In accordance with

**ASNT-SNT-TC-1A EDITION 2016**

CENDE CIA. LTDA. will keep the following records as evidence and information.

DESCRIPTION	GENERAL	SPECIFIC	PRACTICAL	AVERAGE
Examinations	91%	93%	95%	93%
Number of Questions	34/40	18/20	9/10	
Training	24 hours			
Experience	More than 210 hours (*)			
Visual Acuity (**)	It is required annually to verify the visual acuity records during the effect of this qualification.			

(\*) Recorded as experience acquired between 1 to 17 years.


(\*\*) Certificate issued by a competent authority for this activity.

The above person was tested on, **January 09/2018**, and he has shown the proper skills, training education and knowledge to present classroom, laboratory and on the job training program.

This certification is valid only while the above person is employed in **SETE CORREA MIÑO CIA. LTDA.**

Date: **January, 09/2018**

Due date: **January, 09/2021**

  
**Ing. Fredi Miño Salazar**  
ASNT NDT LEVEL III  
ASNT REG. 125657  
EXAMINATOR


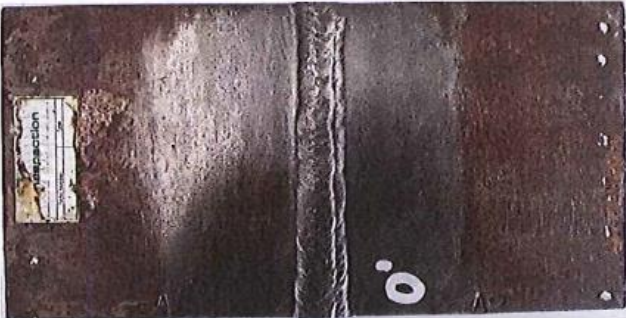
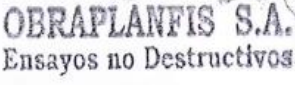
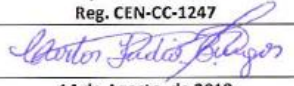
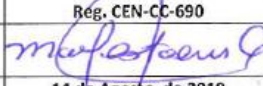
  
**Nilo Antonio Miño S.**  
GENERAL MANAGER  
SETE CORREA MIÑO Cia. Ltda.

Av. Naciones Unidas entre Iñaquito y Núñez de Vela. Ed. Metropolitan, Piso 8, Oficina 813  
Teléfonos: (593 2) 3822-550 Quito-Ecuador. E-mail: [fredimin@gmail.com](mailto:fredimin@gmail.com) ; [fmino@setendt.com.ec](mailto:fmino@setendt.com.ec)

[www.cendendt.com](http://www.cendendt.com)



## Reporte de inspección por radiografía probeta N°. 20190803.

				
CLIENTE: Byron Miño		INFORME : OB-5284-2019		PROCEDIMIENTO: OBR-PRO-RT-001
PROYECTO: INSPECCIÓN DE PROBETAS		FECHA: 14 de Agosto del 2019		Nº DE PAGS: 01/02
<b>REPORTE DE INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA</b>				
Elemento Inspeccionado: PROBETA DE SOLDADURA				
Material: ACERO A-36		Plano Aplicable: No definido		Código de Aplicable: AWS D1.1 Structural Welding Code Steel
Espesor del material: 16mm				
Condición del Elemento:	Acabado de Soldar <input checked="" type="checkbox"/>	Después de T. Térm <input type="checkbox"/>	Después de P. Hidrostática <input type="checkbox"/>	Otras <input type="checkbox"/>
Condición de Superficie:	Soldado <input checked="" type="checkbox"/>	Esmerilado <input type="checkbox"/>	Cepillado <input type="checkbox"/>	Otros <input type="checkbox"/>
Fuente	Material radioactivo	Iridio 192	Tipo de Película	ASTM TIPO II AGFA D7
	Actividad	2.000Ci	Pantallas	PLOMO-0.05 PLG
Rayos Gamma	Tamaño del foco	3.7 mm	Imagen de Pared	SIMPLE PARED SIMPLE IMAGEN
	Equipo No.	SENTINELL 880 DELTA	No. de Exposiciones	01
	Distancia Fuente-Película	600mm	Tipo de penetrómetro	ASTM 1 -B
Mínima distancia fuente al objeto: ---		Máxima distancia del objeto a la película: ----		
Localización de la inspección:				
				
Observaciones:				
IDENTIFICACION DE LAS RADIOGRAFIAS: OBRAPLANFIS S.A SNP: SOLDADURA NÚMERO PROBETA.				
				
Total de radiografías: 01 Radiografía				
Se adjunta hoja de resultados:				
	Inspeccionado por: OBRAPLANFIS S.A.	Revisado y Aprobado por:	Aceptado por:	
Nombre:	Sr. Carlos Indio	Ing. Manuel Eras		
Cargo:	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-1247	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-690		
Firma:				
Fecha:	14 de Agosto de 2019	14 de Agosto de 2019		





PROCEDIMIENTO: OBR-PRO-RT-001

Nº DE PAGS: 02/02

[illegible]

HB	Porosidad alargada Vermicular
LC	Gritas Longitudinales.
TC	Grietas Transversales
IU	Socavado Interno
EU	Socavado Externo
DA	Acumulación de discontinuidad
P	Poro

	Registrado por: OBRAPLANFIS S.A	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Sr. Carlos Indio	Ing. Manuel Eras	
Cargo:	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-1247	Inspector Nivel II RT Reg. CEN-CC-690	
Firma:			
Fecha:	14 de Agosto del 2019	14 de Agosto del 2019	

ULTRASONIDO-RADIOGRAFIA-PARTICULAS MAGNETICAS-LIQUIDOS PENETRANTES-INSPECCION VISUAL-CAUIFICACION DE SOLDADORES-MEDICION DE ESPESORES DE PINTURA  
CDIA. ROSALES II SOLAR 1 MZ. F1 -- TELF: 2185698 -- 0993898114 -- 0991793641 -- EMAIL: obraplanfis@gmail.com  
GUAYACUIL - ECUADOR

- **Certificado del inspector Nivel II**



**CENDE**

**CAPACITACION EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**



**NDT CERTIFICATION**

REG. CEN-CC-1247

This Certificate attests that

**MR. CARLOS STILL INDIO BURGOS**

Has been examined on the subject of

**RADIOGRAPHIC TESTING – LEVEL II**

In accordance with

**ASNT-SNT-TC-1A EDITION 2016**

CENDE CIA. LTDA. will keep the following records as evidence and information.

DESCRIPTION	GENERAL	SPECIFIC	PRACTICAL	AVERAGE
Examinations	85%	87%	90%	87%
Number of Questions	34/40	26/30	9/10	
Training	40 hours			
Experience	More than 630 hours (*)			
Visual Acuity (**)	It is required annually to verify the visual acuity records during the effect of this qualification.			

(\*) Recorded as experience acquired between 1 to 17 years.

(\*\*) Certificate issued by a competent authority for this activity.

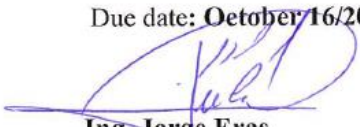
The above person was tested on, **October 16/2017**, and he has shown the proper skills, training education and knowledge to present classroom, laboratory and on the job training program.

This certification is valid only while the above person is employed in **OBRAPLANFIS S.A.**

Date: **October 16/2017**

Due date: **October 16/2020**

  
**Ing. Fredi Mino Salazar**  
ASNT NDT LEVEL III  
ASNT REG. **125657**  
**EXAMINATOR**

  
**Ing. Jorge Eras**  
GENERAL MANAGER  
**OBRAPLANFIS S.A.**

Av. Naciones Unidas entre Iñaquito y Núñez de Vela, Ed. Metropolitano, Piso 8, Oficina 813  
Teléfonos: (593 2) 3822-550 Quito-Ecuador. E-mail: [fredimin@gmail.com](mailto:fredimin@gmail.com) ; [fmino@seterdt.com.ec](mailto:fmino@seterdt.com.ec)

[www.cendendt.com](http://www.cendendt.com)

**ANEXO 7.** Procedimiento de inspección visual de soldadura basado en el código  
AWS D1.1.

<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación:</b> 2019-09-16
		<b>Revisión No.:</b> 00

## PROC-VT-001

	<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>	<b>Firma</b>
Elaborado por:	Byron Miño		
Revisado por:		Nivel III ASNT Registro. No.	
Aprobado por:		Nivel III ASNT Registro. No.	

<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación: 2019-09-16</b>
		<b>Revisión No.: 00</b>

## TABLA DE CONTENIDO

1.	CONTROL DE CAMBIOS	3
2.	OBJETIVO	3
3.	ALCANCE	3
4.	REQUISITOS DEL PERSONAL	3
5.	RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL	3
6.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	4
7.	EQUIPOS Y MATERIALES <sup>4</sup>	
8.	REQUISITOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PREVIO A LA INSPECCIÓN	4
8.1	Iluminación	4
9.	ÁREAS DE INSPECCIÓN	5
9.1	Material base	5
9.2	Soldadura nueva	5
9.3	Soldadura en servicio	5
10.	DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN	5
10.1	Limpieza del área de inspección	5
10.2	Inspección visual directa	5
10.3	Interpretación de las indicaciones	6
10.4	Evaluación de las indicaciones	6
10.5	Marcado	6
11.	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO	7
12.	REPORTE DE INSPECCIÓN	7
13.	CONTROL DE REGISTROS	7
14.	ANEXOS	8

<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación: 2019-09-16</b>
		<b>Revisión No.: 00</b>

## 1. CONTROL DE CAMBIOS

<b>FECHA ANTERIOR</b>	<b>CAMBIOS O MODIFICACIONES</b>	<b>FECHA DEL CAMBIO</b>	<b>AUTOR</b>

## 2. OBJETIVO

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección visual directa en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

## 3. ALCANCE

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades superficiales por inspección visual directa en juntas soldadas de ranura o de filete en aceros estructurales mayores a 1/8 de pulgada (3 mm de espesor), en base a las especificaciones del código AWS D1.1.

## 4. REQUISITOS DEL PERSONAL

El personal que utilice este procedimiento deberá estar capacitado, calificado y certificado como nivel I o II en el método de inspección visual (VT), de acuerdo a lo establecido en la práctica recomendada SNT-TC-1A, emitida por la ASNT.

## 5. RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL

- **Nivel I.-** Es responsabilidad del nivel I realizar la inspección visual aplicando este procedimiento de manera estricta y siguiendo los lineamientos establecidos en el

<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación:</b> 2019-09-16
		<b>Revisión No.:</b> 00

mismo, no posee la facultad de realizar la interpretación y evaluación de los resultados bajo ninguna circunstancia, ni tampoco firmar un reporte de inspección.

- **Nivel II.-** Es responsabilidad del Nivel II, además de lo establecido para el nivel I, interpretar y evaluar las discontinuidades encontradas de acuerdo al código aplicable, además de reportar las condiciones finales en un formato de inspección que contenga su nombre, firma, y número de registro que lo faculta como nivel II.

## 6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- **AWS D1.1.** "Structural Welding Code Steel"
- **SNT-TC-1A.** "Recommended Practice No. SNT-TC-1A, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel"

## 7. EQUIPOS Y MATERIALES

- Luxómetro/fotómetro
- Linterna
- Regla, flexómetro, calibrador pie de rey
- Kit de galgas para soldadura
- Magnificador de 5x y 10x
- Marcador para metal
- Material de limpieza
- Equipo de protección personal, guantes y gafas.

## 8. REQUISITOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PREVIO A LA INSPECCIÓN

### 8.1 Iluminación

La intensidad de luz visible natural, o artificial debe ser de al menos 100fc (1000 lux), obtenga la lectura con un luxómetro/fotómetro y registre el valor obtenido.



<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación: 2019-09-16</b>
		<b>Revisión No.: 00</b>

## **9. ÁREAS DE INSPECCIÓN**

### **9.1 Material base**

Las zonas del material base adyacente a la soldadura deben ser inspeccionadas en busca de daños físicos, en caso de considerar necesario se deben tomar medidas cuantitativas para registro.

### **9.2 Soldadura nueva**

- **De filete**, se debe inspeccionar el perfil del filete, los tamaños requeridos de las piernas y gargantas, espaciamientos o longitudes, discontinuidades de la soldadura.
- **De ranura**, se debe inspeccionar la alineación, el refuerzo, discontinuidades de la soldadura, en aquellos casos que sea posible, se debe inspeccionar la raíz por el lado inferior.

### **9.3 Soldadura en servicio**

Se debe inspeccionar en busca de daños mecánicos, fisuras y corrosión.

## **10. DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN**

### **10.1 Limpieza del área de inspección**

Todas las superficies deben estar completamente limpias, libres de grasa, polvo, arena, etc., que pueden afectar la veracidad de los resultados de la inspección. Utilice cualquier método de limpieza que no afecte el material, sea esta mecánica, química, o con solventes.

### **10.2 Inspección visual directa**

Realice la inspección a una distancia no mayor a 24 pulgadas (600 mm) con respecto al ojo y con un ángulo no menor a 30°, en caso de ser necesario utilice linternas o luz auxiliar para obtener los requerimientos de intensidad de luz establecidos, también se pueden



<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación: 2019-09-16</b>
		<b>Revisión No.: 00</b>

utilizar espejos para mejorar el ángulo de visión y magnificadores para realzar las indicaciones.

En caso de encontrar discontinuidades como, por ejemplo, fisuras, poros, mordeduras, faltas de fusión, entre otros, proceda a la interpretación y evaluación de las mismas.

Finalmente, realice una inspección visual dimensional de la soldadura utilizando el kit de galgas para obtener valores medibles de los tamaños requeridos, y evalúelos de acuerdo código aplicable.

### **10.3 Interpretación de las indicaciones**

Toda indicación deberá ser interpretada para determinar si corresponde a una indicación falsa, relevante o no relevante.

### **10.4 Evaluación de las indicaciones**

Únicamente aquellas indicaciones consideradas como relevantes deberán ser evaluadas de acuerdo a los criterios del código aplicable.

### **10.5 Marcado**

Cada junta de soldadura inspeccionada debe ser identificada de forma única y con una abreviatura que referencie su condición, la misma debe ser realizada con un marcador para metal que genere buen contraste en la superficie y no la deteriore. A continuación, se detalla el criterio para el marcado:

- Número de la junta en orden consecutivo, por ejemplo: J-1, J-2, J-3...J-n.
  - Junta sin indicaciones relevantes, colocar la abreviatura VT-OK.
  - Junta con indicaciones relevantes, se deberá marcar cada indicación relevante delimitando la misma, y adicional colocar la abreviatura VT-REPARAR.

<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA BASADO EN EL CÓDIGO AWS D1.1</b>	<b>Código: PROC-VT-001</b>
		<b>Fecha de Aprobación: 2019-09-16</b>
		<b>Revisión No.: 00</b>

## 11. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Se utilizarán los criterios establecidos en el código AWS D1.1. "Structural Welding Code Steel "

- **Estructuras Estáticas y Cíclicas**, Sección 6. Parte C. 6.9 -Tabla 6.1
- **Estructuras Tubulares**. Sección 9. Parte F. 9.25-Tabla 9.16.

## 12. REPORTE DE INSPECCIÓN

Los resultados de la inspección deben ser reportados en un formato específico que contenga al menos la siguiente información:

- Cliente
- Fecha de elaboración del reporte
- Fecha de inspección
- Registros de control de calidad del proceso previo a la inspección
- Procedimiento utilizado
- Norma, código, estándar aplicado
- Descripción y serie del componente inspeccionado
- Equipos utilizados
- Resultados obtenidos
- Condición final, aceptado o rechazado
- Nombre, firma y número de registro del inspector Nivel II

## 13. CONTROL DE REGISTROS

<b>Identificación</b>	<b>Código</b>	<b>Almacenamiento</b>	<b>Protección</b>	<b>Recuperación</b>	<b>Retención</b>	<b>Disposición de los registros</b>

